

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma/Rakennesuunnittelu

Niina Ruotsalainen

VEDENALAISTEN BETONIRAKENTEIDEN KORJAUSMENETELMÄT JA  
KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

Opinnäytetyö 2012

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Rakennustekniikka

RUOTSALAINEN, NIINA

Vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmät ja  
käytettävät materiaalit

Opinnäytetyö

64 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja

lehtori Sirpa Laakso, lehtori Juha Karvonen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Huhtikuu 2012

Avainsanat

korjausmenetelmät, vedenalainen, betonirakenne

Opinnäytetyö tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoululle, VEBETER-hankkeelle. Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa kooste, josta selviävät vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmät ja käytettävät materiaalit. Lisäksi työssä tarkastellaan kehitysideoita olemassa oleville korjauksessa käytettäville materiaaleille ja korjausmenetelmille.

Opinnäytetyössä haastateltiin lukuisia eri alueiden toimijoita, joilta saatiin tärkeää tietoa rakenteiden kunnosta ja niiden korjaamisesta. Lisäksi perehdyttiin aiheeseen käyttäen apuna siitä löytyvää kirjallisuutta. Näiden tietojen pohjalta pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava ja todenperäinen dokumentti vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmistä ja käytettävistä materiaaleista.

Tulevaisuudessa tulisi panostaa enemmän ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin, jotta välttyttäisiin korjauskelvottomilta rakenteilta ja pienennettäisiin korjauskustannuksia huomattavasti. Lisäksi markkinoille tulisi saada lisää hinta-laatusuhteeltaan hyviä ja taloudellisesti kannattavia materiaaleja sekä mahdollisimman nopeita ja edullisia korjausmenetelmiä.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

RUOTSALAINEN, NIINA

Methods and Materials for the Repair Of Underwater Concrete Structures

Bachelor's Thesis

64 pages + 3 pages of appendices

Supervisor

Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned By

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

April 2012

Keywords

repair methods, underwater , concrete

The work was commissioned by Kymenlaakso University of Applied Sciences for its project called VEBETER. The goal of this thesis work was to create a document about the repair methods and materials used for underwater concrete structures. In addition, this thesis examines development ideas for current existing materials and repair methods in use.

For the study, I interviewed representatives of many different fields, who provided important information about the damages, repair methods and materials that are used. I also gathered more information from books. Based on this information, the goal was to create as comprehensive and accurate a document on underwater concrete repair methods and materials in use as possible.

In the future, there should be more investment for preventive measures in order to prevent unsalvageable structures and to decrease repair costs significantly. In addition, in market there should be more price-quality ratio in good and commercially viable materials, as well as quick and inexpensive repair methods.

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoululle, VEBETER-hankkeelle. Työn tavoitteena on hankkia tietoa vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmistä ja käytettävistä materiaaleista. Hankkeen yhtenä tavoitteena oli myös kehitys-ideat.

Kiitän Kymenlaakson ammattikorkeakoulua saamastani mahdollisuudesta tehdä kyseinen opinnäytetyö ja olla mukana hankkeessa. Kiitän myös ohjaajiani lehtori Sirpa Laaksoa ja Juha Karvosta, jotka ohjasivat ja opastivat minua opinnäytetyöni aikana. Lisäksi kiitän perhettäni ja ystäviäni saamastani tuesta.

Mainitsen kiitokseni kaikille niille yrityksille, jotka luovuttivat tärkeitä tietoja käyttöni opinnäytetyötä varten. Kiitän myös kaikkia, jotka luovuttivat kuvia käyttöni opinnäytetyötäni varten.

Kotkassa

15.4.2012

Niina Ruotsalainen



# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ALKUSANAT

JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Tehtävä ja tavoitteet	7
2 SATAMAT JA SILTARAKENTEET	8
2.1 Satamat	8
2.2 Sillat	9
2.3 Rakenteissa käytetyt materiaalit	9
3 SATAMARAKENTEIDEN VAURIOT	10
3.1 Vauriotyyppi	10
3.1.1 Betonin halkeilu	10
3.1.2 Korroosio	12
3.1.3 Valuviat	14
3.1.4 Pintavauriot	15
3.1.5 Eroosio	16
3.1.6 Maamassojen huuhtoutuminen	18
3.2 Vaurioiden ehkäisy	18
4 RAKENTEIDEN KORJAUSMENETELMÄT	21
4.1 Korjaustöiden esivalmistelu	22
4.2 Vedenalainen betonointi	25
4.3 Betonin paikkaus	26
4.4 Manttelointi	30
4.5 Hiilikuituvahvistus	31
4.6 Raudoituksen uusiminen ja lisäraudoitus	34
4.7 Voimalaasti-korjausmenetelmä	36
4.8 Injektointi	37
4.9 Ruiskubetonointi	40

5	MATERIAALIT	42
5.1	Laastit	42
5.2	Uppobetoni	43
5.3	Rakennebetoni	43
5.4	ITB-betoni	45
5.5	Sebera vesibetoni	46
5.6	Voimalaasti	47
5.7	Ruiskubetoni	48
5.8	Injektointiaineet	48
5.9	Polymeerit	50
6	KYSELY- JA HAASTATTELUTUTKIMUKSET SEKÄ TULOKSET	51
6.1.1	Aikataulu	51
6.1.2	Tiedonhaku	52
6.2	Tulokset	52
6.2.1	Vaurioiden seuranta	52
6.2.2	Vaurion tyypit	53
6.2.3	Vaurioiden sijainti	53
6.2.4	Vaurioiden laajuus	54
6.2.5	Vaurioiden korjaaminen	56
6.2.6	Käytettävät materiaalit	57
6.2.7	Kehittäminen	58
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	59
LIITTEET		
	Liite 1. Kyselylomake	
	Liite 2. Kyselylomake	

## JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö tehtiin VEBETER-hankkeelle, jota hallinnoi Kymenlaakson ammatti-korkeakoulu. Hankkeeseen osallistuu useita osapuolia satamayhtiöistä, urakoitsijoilta sekä muilta toimijoilta. Hankkeen päätavoitteena on kehittää vedenalaisten betoni- ja teräsrakenteiden tutkimiseen soveltuvia menetelmiä, saada tietoa eri-ikäisten betonirakenteiden vaurioista, vaurioitumisesta ja kestävyydestä sekä luoda uusia toimintakonsepteja vedenalaisten betonirakenteiden tutkimiseen. Lisäksi hankkeessa pyritään kehittämään automaattisia monitorointijärjestelmiä kunnan seurantaan ja kehittämään korjaamisessa käytettäviä materiaaleja.

Suomessa vedenalaisia teräsbetonirakenteita on eniten satamissa, silloissa ja voimalaitoksissa. Rakenteet ovat edellytys näissä paikoissa tapahtuvalle toiminnalle, ja sen takia niiden tulisi olla kunnossa. Vaurioituneet rakenteet voivat olla vaaraksi, jopa henkilöstölle. Nykyisin vaurioita korjataan usein pelkästään silmämääräisten tarkastelujen pohjalta eivätkä kaikki vauriot välttämättä tule esiin. Toisaalta silmämääräisten kunnonarviointien pohjalta tehdyt korjaukset voivat olla myös turhia tai ylimitoitettuja.

### 1.2 Tehtävä ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa kooste, vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmistä ja käytettävistä materiaaleista. Tämän avulla pystytään kartoittamaan vaurioiden ja korjauksien tilannetta kentällä. Lisäksi tarkastellaan kehitysideoita olemassa oleville tai mahdollisesti markkinoille tuleville, korjauksessa käytettäville materiaaleille ja korjausmenetelmille.

Tarkastelun laajuudeksi valittiin satama- ja siltarakenteet. Työn tavoitteena on kooste, joka ohjeistaa lukijaansa vedenalaisten betonirakenteiden vaurioiden, korjausmenetelmien ja materiaalien käyttöön. Tarkoituksena oli muokata yrityksiltä ja kirjallisuudesta saatuja tietoja siihen muotoon, että syntyy yhtenäinen paketti aiheesta.

## 2 SATAMAT JA SILTARAKENTEET

### 2.1 Satamat

Satamatyypit jaetaan niiden käyttötarkoituksen ja liikenteen mukaan. Yhdellä satamalla voi olla useampia käyttötarkoituksia.

Huvivenesatamat ovat tarkoitettu pienveneiden käyttöön. Yksityiskäytössä olevat huvivenesatamat ovat joko kotisatamia tai vierassatamia. Erikseen luokitellut kalastussatamat on suunniteltu rakenteiltaan ja laiturityypeiltään sopivaksi kalastussaaliiden purkamiseen. Kalastussataman liikenne voi olla ajoittain hiljaista kuukausien mittaisen pyyntimatkojen vuoksi. (RIL 236-2006, 13–14.)

Tavarasatamissa käsitellään ja siirrellään tuonti- ja vientitavaraa. Tavarat kuljetetaan yleensä konteissa ja rekoissa. Tavarat siirretään säilytystiloihin erilaisten kuljettimien ja nostureiden avulla, satamasta riippuen. Rekisteröidyt matkustaja-alukset liikennöivät pääosin matkustajalaivasatamissa. Matkustajasatamien alukset kuljettavat ainoastaan henkilömatkustajia tai autolauttoja. (RIL 236-2006, 13–14.)

Satamissa sijaitsevien laiturirakenteiden laiturityypit luokitellaan niiden sijainnin mukaan. Kuvassa 1 esitetään rantalaituri, jonka tausta on täytetty ja joka kulkee taustalla olevan rannan suuntaisesti. Rantalaiturin vastakohta on pistolaituri, joka rakennetaan kohtisuoraan ulos rannasta. Tihtaalilaituri puolestaan muodostuu erillisistä laituritihtaaleista, jotka on yhdistetty toisiinsa kävelysilloilla. Tyypillisesti öljylaitureina käytettävä off-shorelaituri rakennetaan riittävän kauas rantaviivasta, jotta saavutetaan riittävä vesisyvyys. Satamissa esiintyvät aallonmurtajat on rakennettu suojaamaan sataman laitureita aalloilta. (RIL 236-2006, 13–14.)



Kuva 1. Kotkan tavarasataman rantalaitureita (Insinööritoimisto Pitkälä Oy 2012.)

## 2.2 Sillat

Suomessa on käytössä monia erilaisia siltatyyppejä sillan käyttötarkoituksen mukaan. Siltaan katsotaan kuuluvaksi myös tieluiskat, keilat ja siltaan kuuluvat varusteet. Siltojen yleisin rakennusmateriaali on teräsbetoni. Betonisillat ovat elementtirakenteisia, puolielementtirakenteisia tai paikalla valettuja siltoja. Alikulkukäytävinä on käytetty myös teräksisiä putki- ja holvisiltoja. (Tielaitos 2012.)

## 2.3 Rakenteissa käytetyt materiaalit

Niin silta- kuin laiturirakenteisiin hyvin soveltuva rakennusmateriaali on betoni. Betoni on sementistä, kiviaineksesta ja vedestä koostuva rakennusmateriaali. Betonin ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla lisä- ja seosaineilla. Suhteuttamalla betoni oikein ja käyttämällä juuri oikeita lisä-aineita saadaan helposti työstettävää ja hyvälaatuista betonia. Betonia käytetään muun muassa siltojen ja laitureiden kantavan rungon pilareissa, paaluissa ja kansipalkistoissa. (RIL 236-2006, 20; Encyclopedia Citizendium 2012.)

Terästä käytetään satama- ja siltarakenteiden paaluissa, teräsponttiseinien ponttilankuissa, sekä ylärakenteen kantavissa palkeissa. Teräsrakenteissa käytetään katodista suojausta, betonisuojausta, maalausta ja muovi pinnoitteita korroosion suojaukseen. Teräs on suosittu sillanrakennusmateriaali. (RIL 236-2006, 20.)

Aikaisemmin puu on ollut suosittu siltojen sekä laitureiden rakennusmateriaali. Suurin osa kaikista vanhimmistä rakenteista on puurakenteisia. Puun säilyvyys on riittävä vedenpinnan ylä- ja alapuolella, mutta vedenpinnan vaihtelualueella puun kestävyys aiheuttaa ongelmia. Puun kyllästäminen tai muunlainen niin sanottu kemiallinen käsittely parantaa huomattavasti puun kestävyyttä. Huonon säilyvyyden vuoksi puu ei ole silti enää niin suuressa suosiossa kuin teräs ja betoni. (RIL 236-2006, 20.)

### 3 SATAMARAKENTEIDEN VAURIOT

#### 3.1 Vauriotyyppi

##### 3.1.1 Betonin halkeilu

Tyypillinen betonirakenteen vaurio on halkeilu. Halkeamat ja onkalot aiheuttavat haitallisia seurausvaikutuksia betonirakenteissa. Halkeamien laajuutta voidaan hallita oikealla suunnittelulla ja toteutuksella. Halkeamia syntyvät betoniin, kun sen vetolujuus ylittyy. Halkeilujen määrä ja laajuus vaikuttavat myös oleellisesti betonin esteettisyyteen (kuva 2). (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92.)

Halkeamat vaikuttavat oleellisesti betonin laatuun. Betonin läpäisevyys lisääntyy halkeamien myötä, eli betonin laatu huononee. Raudoitukseen ulottuvat halkeamat ovat haitallisin halkeamatyyppi. Syvien halkeamien kautta haitalliset aineet pääsevät tunkeutumaan betoniin helposti aiheuttamaan korroosiota. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92.)

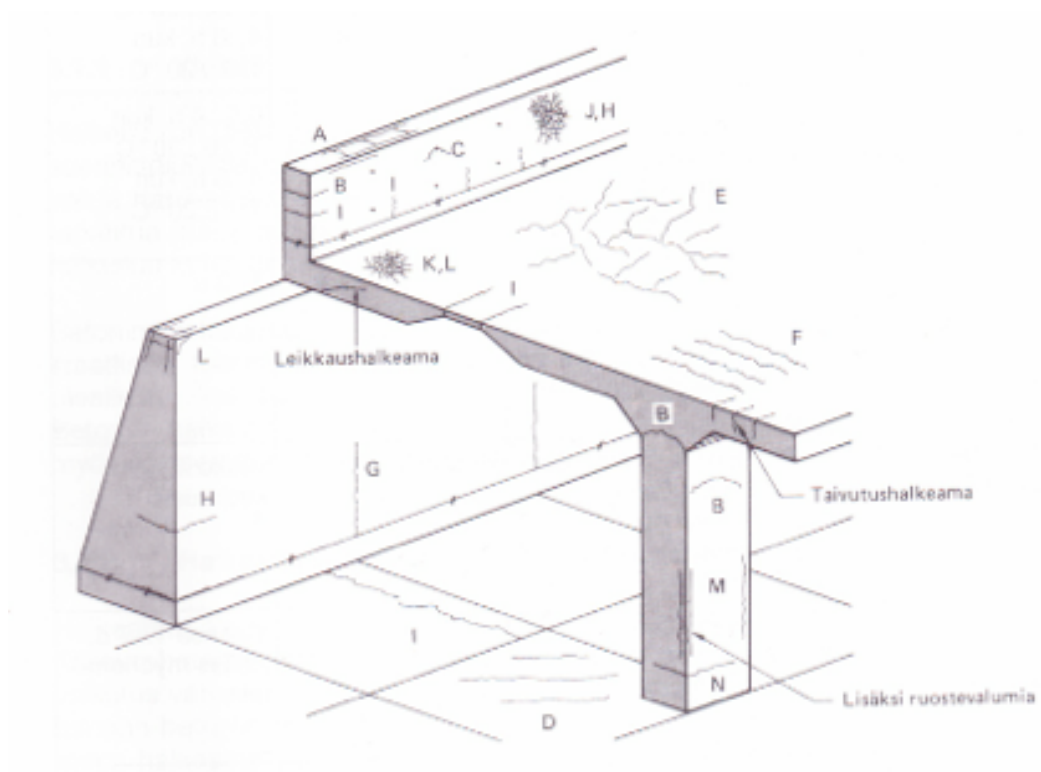


Kuva 2. Kansirakenteen reunamuurin etuseinässä esiintyvää verkkohalkeilua. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010.)

Betonisilloissa esiintyy tyypiltään hyvin erilaisia halkeamia. Halkeamien syitä on paljon erilaisia, ja niiden syntymiseen kuluva aika vaihtelee minuuteista vuosiin. Halkeamat tulisi korjata mahdollisimman nopeasti, jotta välttyttäisiin betonin rapautumiselta ja raudoituksen korroosiolta. Voidaan siis todeta, että kaikki halkeamat vaikuttavat betonirakenteen säilyvyyteen. Rakenteiden korjaustyöt edellyttävät halkeaman perusteellista selvitystä. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

Halkeamatyypit voidaan jakaa kovettumisen jälkeen tapahtuviin ja ennen kovettumista tapahtuviin halkeamiin. Jo rakennusvaiheessa voi syntyä halkeamia, joita ovat plastinen kutistuma ja plastinen painuma. Liian suuret lämpötilaerot ja muodonmuutokset aiheuttavat vedenalaisille betonirakenteille halkeamia. Sementin hydraatio tuottaa lämpöä betoniin sen kovettuessa. Kovettumisvaiheessa syntyy halkeamia, joiden syyinä ovat lämpötilaerot. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 94; Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

Kuvassa 3 on esitetty betonirakenteissa tyypillisesti esiintyviä halkeamatyyppejä ja vaurioiden syntymäkohtia. Kohdat A, B ja C kuvaavat plastisesta painumasta aiheutuvia halkeamia, joiden pääsyynä on veden erottuminen tai nopea kuivuminen. Kohdissa D, E ja F ovat kyseessä plastisesta kutistumasta aiheutuneet vauriot, joiden pääsyynä on pinnan nopea kuivuminen. Rakennusosien sisäisistä tai ulkoisista lämpötilaeroista johtuvat vauriot G ja H, jotka ovat niin sanottuja hydrataatio lämpö- tai lämmityshalkeamia. I on niin sanottu kuivumiskutistuminen. J ja K kuvaavat pintahalkeilua. L on pakkasrapautuminen. M ja N kuvaavat raudoituksen ruostumista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 93.)



Kuva 3. Esimerkkejä betonirakenteiden tyypillisistä halkeamista (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 94)

### 3.1.2 Korroosio

Betoniterästen korroosio on yleisin satamarakenteissa esiintyvä vauriotyyppi (kuva 4 ja kuva 5). Raudoituksen korroosio eli ruostuminen on tyypillistä kosteassa ilmassa ja kuuluu teräksen luonteeseen. Kyseessä on sähkökemiallinen tapahtuma, jossa kemialliset ainekomponentit ja sähkövaraukset ottavat osaa reaktioihin. Tällöin rauta pyrkii muuttumaan oksideiksi ja hydroksideiksi, joina niitä luonnossa esiintyy. Korroosiolle



välttämättömiä aineita ovat vesi, happi ja korroosiota edistävät kemikaalit, kuten kloridi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 97)



Kuva 4. Palkin alapinnan raudoituksen korroosioaurio (Helsingin satama 2012.)

Betonirakenteissa korroosion edellytyksenä on riittävä hapen kulkeutuminen betoni-  
peitteen läpi raudoituksen läheisyyteen sekä betonin sopiva kosteuspitoisuus. Raudoi-  
tuksen korroosiossa tapahtuu sähkökemiallinen reaktio, jota kutsutaan anodi- tai kato-  
direaktioksi. Anodit ja katodit ovat yhteydessä toisiinsa sekä raudoituksen että betonin  
kautta. Korroosio tapahtuma on erilainen sen mukaan, onko korroosio alkanut betonin  
karbonatisoiduttua vai ovatko kloridit rikkoneet raudoitusta suojaavan oksidikalvon.  
Hapen ja veden muodostava hydroksyyli-ryhmä reagoi puhtaan raudan kanssa muodos-  
taen rautahydroksidia eli ruostetta; tällöin rauta alkaa syöpyä anodin ja katodin reakti-  
oiden mukaisesti. Anodin aiheuttama korroosio raudoituksessa on pinta-alaltaan pieni  
ja katodin aiheuttama sitä vastoin pinta-alaltaan suuri. (Suomen Betoniyhdistys ry  
2007, 100)

Betonin raudoituksen antama kemiallinen suoja häviää, kun betoni ilman hiilidioksi-  
din vaikutuksesta karbonatisoituu. Tällöin betonin pH-arvo laskee, raudoituksen  
emäksinen ympäristö katoaa ja raudoitusta suojaava oksidikalvo voi tuhoutua. Myös  
kloridien tunkeutuminen betoniin poistaa betonia suojaavan vaikutuksen eli oksidikal-  
von. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 98; Uudenkaupungin isännöitsijäkeskus, 2012.)

Happi kulkeutuu vedenalaisissa rakenteissa erittäin hitaasti, joten myös raudoituksen korroosiovaara on erittäin pieni. Korroosiovaara on pieni myös, kun kyseessä on kuiva betoni. Tämä johtuu siitä, ettei kuivassa betonissa synny korroosiolle vaadittavaa yhteyttä raudoituksen anodin ja katodin välille. Halkeamien kohdalla betoni karbonatisoituu kiilamaisesti muuta betonia syvemmälle. Karbonatisoitumis nopeus riippuu oleellisesti halkeaman koosta. Korroosiovaara onkin suurin sellaisissa rakenteissa, jotka vuoroin kastuvat ja vuoroin kuivuvat. Raudoituksen korroosionopeus betonissa on suurimmillaan ilman suhteellisen kosteuden ollessa n. 95 %. Tällainen tilanne on juuri satamien ja siltojen pilareilla, jossa betoni on lähellä vesirajaa tai vesirajan yläpuolella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 101.)



Kuva 5. Putkistosillan pitkittäispalkin sivussa esiintyvä raudoituksen korroosio. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010.)

### 3.1.3 Valuviat

Valuviat johtuvat betonin valuvaiheesta tapahtuneesta työvirheestä, esimerkiksi huonosta tiivistyksestä. Valuvikoja voi esiintyä kaikissa betonirakenteissa, jotka on tehty valutyönä. Veden alle voidaan valaa koossapysyvää, notkeaa ja kulutuksen kestäväää betonia, mutta vedenalainen betonivalu on vaativampaa kuin kuivatyönä tehty valu. Lievimmissä päässä vauriot ovat pieniä yksittäisiä valuvikoja. Vakavimmissa valu-

virheissä vika esiintyy laajalla alueella. (RIL 236-2006, 145; Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 7–9.)

Betonipinnan huuhtoutuminen on suurin ongelma vedenalaisessa valussa. Huuhtoutumiseen vaikuttaa oleellisesti käytettävän massan koostumus, työmenetelmä ja veden virtausnopeus. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 7–9.)

Valuputken ollessa liian lähellä pintaa on seurauksena heikkolaatuinen betonikerros putken ympärillä. Valuputken tulee olla tietyllä syvyydellä massassa, jotta turhilta virheilta välttyttäisiin. Putken ollessa liian pinnassa sinne pääsee vettä ja sementti huuhtoutuu betonista pois. Betonin erottumiseen ja huuhtoutumiseen valun aikana vaikuttaa aloitustulpan oikea valinta ja sen asentaminen. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 7–9.)

Valuputkien sijoittelu ja raudoitus vaikuttavat massan virtaukseen ja näin ollen väärin asennettuna aiheuttaa erottumista. Valun keskeytyksiä tulisi välttää ja valuputken poistamiseen kiinnittää erityistä huomiota. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 7–9.)

#### 3.1.4 Pintavauriot

Pintavaurioita voi esiintyä rakenteessa koko sen matkalla. Vaurioita ovat pinnoitteen irtoaminen, halkeilu ja ohentuminen. Vaurioita aiheuttaa pinnoitteen tai muun suojauksen toimintakyvyn heikkeneminen. (RIL 236-206, 144.)

Pintavauriot voivat johtua myös korroosiosta. Paisuvat korroosiotuotteet aiheuttavat betoniin halkaisevia voimia, jotka synnyttävät halkeamia, sisäisiä säröjä ja mahdollisesti betonipeitteen lohkeamista. Pinnan värjäytyminen voi olla myös merkki korroosiosta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 103.)

### 3.1.5 Eroosio

Eroosio on pinnan kulumista erinäisistä vaikutuksista. Virtaava vesi, liikkuva jää sekä painovoima aiheuttavat eroosiota betonirakenteille. Laivojen potkurivirtauksien mukana tulleet maa-ainekset lisäävät eroosiota. (Encyclopedia Britannica 2012; McLeish, 138-139.)

#### Kavitaatio

Kavitaatiossa paineen laskiessa nesteen höyrystymispaineen alapuolelle veteen syntyy kuplia. Virtaavissa vesissä kuplia muodostuu usein. Kuplat virtaavat veden mukana alueelle, jossa on korkeampi paine ja rikkoutuvat. Rikkoutuessaan lähellä kiinteää pintaa ne aiheuttavat pienelle pinnalle erittäin korkean paineen. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 4.)

Kavitaatio jättää runkoaineen ehjäksi syövyttäen ainoastaan sementtikiveä. Sementtikiveen syntyneet mikrosäröt edistävät kavitaatiota. Betonipinnan koholla olevat runkoainepartikkelit kiihdyttävät alkanutta eroosiota. Virtauksen muuttuessa tarpeeksi alkavat muut mekanismit vaikuttaa ja lisätä mahdollisia vaurioita rakenteessa. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 5.)

#### Kuluminen ja törmäykset

Veden mukana kulkeutuu hiekkaa, soraa, kiviä ja muuta roskaa. Potkurivirrat saavat aikaan pohjan maa-aineksen liikkeen. Kulkeutuneet ainekset kuluttavat betonipintaa. Kun betonipinta kuluu tarpeeksi, siitä tulee sileä. Kulumisnopeus vaihtelee riippuen kulkeutuneiden kappaleiden ominaisuuksien, vedenvirtausnopeuden ja käytetyn betonin laadun mukaan. Kappaleiden törmäyksessä rakenteeseen voi syntyä suuriakin vahinkoja (kuva 6). Törmäys voi aiheuttaa halkeilua tai jopa betonin murtumista. Rakenteet tulisi mitoittaa kestäämään kaikki mahdolliset törmäyksestä aiheutuvat kuormat, mutta tämä ei ole taloudellisista kannattavaa. Rakenteita kuitenkin suojataan, jotta voidaan ehkäistä vaurioiden laatua sopivilla toimenpiteillä. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 5.)



Kuva 6. Aluksen aiheuttama vaurio laiturin reunamuurissa (Helsingin satama 2012.)

#### Kemiallinen rapautuminen

Vesi ja monet suola- ja happoliuokset liuottavat betonin ainesosia, kun betonin läpäisevyys on alhainen (kuva 7). pH:n ollessa suuri kemiallinen rapautuminen on hidas, joten sillä ei ole merkitystä rakenteen säilyvyyden kannalta. Virtaavan veden pH:n ollessa alhaisempi kuin 6,5 vesi alkaa liuottaa betonista kalkkia, jolloin betonin lujuus, pakkasenkestävyys ja kemiallinen kestävyys heikkenevät. Betonin kannalta happoyhdisteet, kuten sulfaatti-ioni  $\text{SO}_4^{2-}$ , ovat haitallisia, kun ne reagoivat betonin emäksisen kalsiumhydroksidin ja trikalsiumaluminaatin kanssa ja muodostavat helpoliukoista kipsiä ja paisuvaa ettringiittiä. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 6.)





Kuva 7. Pumppauskaivon pohjalaatan alapinnassa esiintyvää rapautumaa, halkeamia ja kalkkivuotoa (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010.)

### 3.1.6 Maamassojen huuhtoutuminen

Kansirakenteissa voi esiintyä vaurioita, joissa rakenne on romahtanut kokonaan. Tällöin kyseessä voi olla satamarakenteen kannen romahtaminen, jonka syynä voi olla täyttömateriaalin painuminen alas. Rakenteesta tulee ontto ja pienikin pistekuorma voi aiheuttaa rakenteen romahtamisen. Eroosio aiheuttaa täyttömateriaalin huuhtoutumisen pois rakenteen alta. Myös kovien törmäysvaurioiden vuoksi kansirakenteet voivat sortua, kun maamassat pääsee huuhtoutumaan murtuman kautta. Vanhojen hirsiarkkurakenteiden sisältä ja taustalta on usein huuhtoutunut aikojen kuluessa täyttömateriaalia. Tämä saa aikaan jossain vaiheessa pintarakenteiden vaurioita. (Mustamaa 2012; Saukkonen 2012.)

## 3.2 Vaurioiden ehkäisy

Betonirakenteiden kuntoa seurataan kuntotarkastuksilla. Rakenteita tutkitaan joko yleis- tai erikoistutkimuksilla. Tutkimuksissa selvitetään rakenteiden kuntotilaa ja karotoidaan niiden korjaustarpeita. Tarkastuksia tulisi suorittaa säännöllisesti noin viiden vuoden välein. Tarkastuksien pohjalta arvioidaan kunnostustoimenpiteiden kustannuksia. Ehkäisevän tai hidastavan suojauksen avulla voidaan välttää jopa turhat ja kal-

liit korjaustoimenpiteet ja näin saadaan merkittävää taloudellista hyötyä. (RIL 236-2006, 133,151.)

Betonirakenteissa vauriot havaitaan yleensä silloin, kun ne jo ovat edenneet niin pitkälle, että suojaustoimenpiteet eivät enää riitä vaan vaaditaan laajempia korjaustoimenpiteitä. Käytettyjä suojaustoimenpiteitä on esimerkiksi betonin pinnoitus suoja-aineella, betonipinnan teräsvaippa, betoniterästen korroosionestoaineet, betoniterästen katodinen suojaus ja suojabetonikerroksen kasvattaminen (RIL 236-2006, 151-152.)

Betonin eri halkeilutyyppejä voidaan ennaltaehkäistä erilaisin toimenpitein. Oikeanlaisella suunnittelulla ja ammattitaitoisella toteutuksella voidaan vaikuttaa oleellisesti halkeamaväliin ja halkeamaleveyteen. Oikeanlainen betoni yhdessä työsuorituksen ja jälkihoidon kanssa on osa halkeaminen ennaltaehkäisyä. Pienentämällä betonin aikaisa lämpötilaeroja ja lämpötilavaihteluja voidaan ennaltaehkäistä mikrohalkeamia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92)

Betoniterästen korroosio on yleisin toimenpiteitä aiheuttava vaurio betonirakenteissa. Käytännössä pyritään muuttamaan raudoituksen ympäristössä vallitsevat olosuhteet sellaisiksi, ettei korroosio enää etene, tai sen eteneminen on hyvin hidasta. Raudoituksen korroosion käynnistyttyä käytettävissä olevia suojausmenetelmiä tai korjausmenetelmiä ovat karbonatisoituneen tai liian kloridipitoisen betonikerroksen poistaminen ja korvaaminen uudella kerroksella. Muita mahdollisuuksia ovat raudoituksen katodinen suojaus ja betonin uudelleen alkalointi. Lisäksi korroosion hidastusmenetelmiä ovat muun muassa raudoituksen puhdistaminen ja pinnoittaminen ruosteenesto aineella. Ohuissa seinämissä tai kuorirakenteissa voidaan käyttää myös ruostumattomia tai kuumasinkittyjä raudoitteita. (RIL 236-2006, 157.)

Katodinen suojaus on suojausmenetelmistä vanhin. Katodinen suojaus on osoittautunut toimivaksi menetelmäksi vedessä olevien teräsrakenteiden suojaamisessa. Katodinen suojaus on sähkökemiallinen suojausmenetelmä. Virtapiirissä on ulkoinen anodeilla toimiva elektrodi, jonka kautta ulkoinen virta johdetaan elektrolyytinä toimivan betonin välityksellä katodina toimivaan raudoitukseen. Tällöin polarisaation aiheuttaman raudoituksen passivoitumisen seurauksena korroosio hidastuu tai lakkaa. Katodinen suojaus toimii niin kauan, kuin virtapiirissä kulkee virtaa. Tällöin aggressiiviset

kloridi-ionit alkavat poistua betonista ja betonin huokoisrakenne alkaa uudelleen alkaloitua. (VTT 2008.)

Työvälineet pitää tarkastaa ja huoltaa ennen töiden aloittamista. Epäkunnossa olevat laitteet voivat aiheuttaa suuria ongelmia työn aikana, joita ei huomata. Ammattitaitoinen ja koulutettu henkilöstö työssä on oleellinen asia onnistumiseen. Oikeiden työtapojen ja työlaitteiden käytöllä estetään turhien virheiden syntyminen. Kuitenkin huolellinen työn suoritus ja jälkihoito vaikuttavat betonin kestävyysasteen suuressa määrin. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 8–10; Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 531.)

Oikeat materiaalivalinnat ovat tärkeä osa vaurioiden ehkäisyä. Materiaalit tulee valita työkohteen luonteen mukaan. Materiaalien soveltuvuus voidaan testata betonimassasta tehtyjen koekappaleiden avulla laboratoriossa. Käyttämällä erityisementtejä ja korvaamalla osa sementistä potsolaanilla vähennetään huomattavasti kalkin liukenemista betonista. Silikaa on käytetty tähän tarkoitukseen hyvin testaustuloksien mukaan. Suomen sisävesien kohdalla ainoa riskitekijä on veden aiheuttama kalkin liukeneminen betonista. Riittävä ja välttämätön edellytys kemiallisen kestävyysasteen kannalta on luja ja tiivis betoni. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 5–6.)

Alusten liikkeelle lähdöstä ja parkkeerauksesta johtuvat potkurivirrat aiheuttavat eroosiota, joka näkyy erityisesti laiturin alla olevissa rakenteissa. Laiturien edustan rakenteissa käytetään eroosiosuojausta, jotta välttyttäisiin turhalta eroosiolta. Vanhemmissa rakenteissa eroosiosuojarakenne on tehty louheesta ja irtokivistä. Nykyään eroosiosuojarakenne on yhtenäinen betonilaatta, kuitenkin pienimmissä kohteissa se voidaan tehdä myös louhetäytöstä. Eroosiolaatta suojaa laiturirakenteiden juuria voimakkailla potkurivirtauksilta. Tällaisten suojausten kuntoa tarkastetaan säännöllisesti, koska suojaamaton rakenne on todella altis vaurioille. (RIL 236-2006, 23,166.)

Vaikka betonirakenteiden suunnittelussa kiinnitetään huomiota betonin laatuun ja ominaisuuksiin, se ei silti kestä törmäyksiä ja hankauksia. Tämän vuoksi laiturit suojataan vaurioilta suojaparruilla ja fenderirakenteilla. Pieniltä kolhuilta suojaava puinen suojaparrusto laiturimuurin ulkopinnassa rakennetaan käyttäen useimmiten painekyllästettyä puuta. Kuitenkin paikoissa, joissa kulutus on suuri, voidaan käyttää myös suojaamatonta puuta. (RIL 236-2006, 24,166.)



Fenderirakenteet muodostuvat kumisista fenderikumeista, jotka kiinnitetään laituri-muuriin erillisillä kiinnityspulteilla ohjeiden mukaan (kuva 8). Fenderikumien koko ja sijoitus riippuvat laituria käyttävien alusten ominaisuuksista. Fenderirakenteen pintaan voidaan asentaa polyeteenistä tai teräksestä valmistettu kilpi. Vaurioituneet kumifenderit on helppo vaihtaa uusiin. Kiinnityspulttien vaurioituessa ne voidaan uusida, joko asentamalla uudet pultit tai korjaamalla vanhat hitsaamalla. (RIL 236-2006, 167,24.)



Kuva 8. Aluksen vaurioittama fenderituki (Helsingin satama 2012.)

Rakenteen geometrisella suunnittelulla voidaan ehkäistä kavitaatiovaurioiden syntymistä. Vedenvirtauksen äkilliset muutokset voidaan estää geometrisella suunnittelulla. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989, 5.)

#### 4 RAKENTEIDEN KORJAUSMENETELMÄT

Suomessa on käytössä siltojen korjausohjeet eli SILKO-ohjeet. SILKO-ohjeet soveltuvat pääosin siltojen korjaamiseen vedenpäällisessä korjausrakentamisessa. Osassa SILKO-ohjeita kuitenkin sivutaan myös vedenalaista korjausrakentamista. Lisäksi käytössä on Tiehallinnon Sillantarkastuskäsikirja.

Useimmilla Suomen satamilla on käytössään Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisema Satamarakenteiden kunnonhallinta, RIL 236-2006. Teos käsittelee kattavasti Satamalaitureiden kunnonhallintaa. Ohjeistus on kattava vedenpinnan yläpuolisille rakenteille, mutta vielä ei ole paneuduttu tarkemmin vedenpinnan alapuolisiin rakenteisiin.

#### 4.1 Korjaustöiden esivalmistelu

##### Rakenteiden eristäminen ulkoisilta voimilta

Paalujen korjaustyössä tyypillisin tapa eristää korjattava kohde on käyttää paalun ympärille asennettavaa vesitiivistä kammiota (kuva 9), joka tehdään usein metallilevystä. Tämän jälkeen kammio tyhjenetään vedestä, jotta korjaustyöt voidaan suorittaa kuivatyönä. Toinen tyypillinen tapa on suorittaa työ käyttäen ammattisukeltajia ja tehdä työ vedenalaisena työnä. Paikallisvaurioiden korjaukseen on myös muita menetelmiä, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia kuin kaksi edellä mainittua ratkaisua. Tämän takia menetelmät eivät ole Suomessa kovassa suosiossa. (McLeish 1994, 86–87.)

Ilmakehäpaineisen masuunin, jossa kulkuväylä on vedenpinnan yläpuolella, kautta ihmiset ja työkoneet pääsevät kohteeseen. Masuuni kiinnittyy korjattavan kohteen ympärille pulteilla ja tiivistyy tiivisteiden avulla. Masuunissa on se hyvä puoli, että se on täysin vesitiivis. Paineistettu kuiva masuuni on samanlainen rakenne kuin ilmapaineinen masuuni, mutta sinne sukeltaja menee pohjan kautta, eikä se ole yhteydessä ilmakehään. Märkä masuuni ei ole vesitiivis, vaan se suojaa pelkästään sukeltajaa merenkäynniltä ja ulkoisilta vaikuttajilta. (McLeish 1994, 86–87.)



Kuva 9. Vesitiivis kammio (GT-Corporation 2012.)

### Esivalmistelu

Korjaustöiden esivalmisteluun liittyy kiinteästi korjattavan rakenteen kunto ja tarvittavan korjauksen määrä. Vähäisellä korjauksella tarkoitetaan betonipinnan korjausta. Merkittäväksi korjaukseksi katsotaan betonin ja raudoituksen uusiminen. Peruskorjauksella tarkoitetaan kantavien rakenteiden merkittäviä vahvistuksia tai uusia perusrakenteita. (RIL 236-2006, 155.)

Työn perusteellinen tekeminen edellyttää korjattavan rakenteen purkutöitä vaurion edellyttämässä laajuudessa. Purkumenetelmä on kullekin kohteelle ominainen tekijä, joka valitaan rakennetyypin, työn laajuuden, sijainnin ja käytössä olevan kaluston mukaan. Tavallisesti purkutyöt tehdään piikkausvasaralla tai vesipiikkauslaitteella, mutta jos korvataan rakenneosia kokonaan, myös järeämmät keinot, kuten räjäytys ovat mahdollista. (RIL 236-2006, 155.)

Muotitus

Muottien materiaali ja rakenne vaikuttavat muottien avulla tehtäviin korjauksiin (kuva 10). Materiaalina on yleensä sahatavara, mutta myös lastulevy ja vaneri toimivat hyvinä muottimateriaalina. Muottirakenne ja sen tiiveys on tarkastettava ennen valua, jotta valu onnistuu. Muotin tulee vastata kooltaan ja muodoltaan rakenteen ominaisuuksia. Muottirakenteen tulee kestää betonimassan ja valun aiheuttamat kuormat niin, että se ei muuta muotoaan tai mittojaan. (Paikkaus muottien avulla 2.232, 2012; Betoniteollisuus ry 2012.)



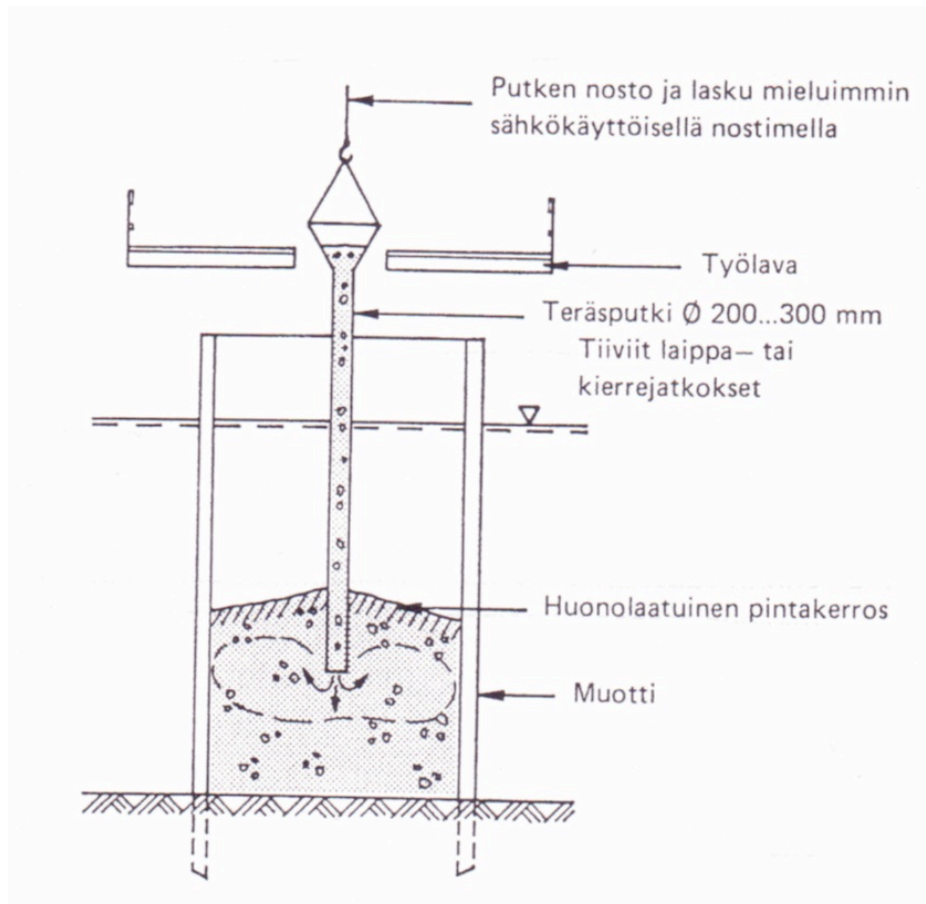
Kuva 10. Palkkikorjauksen muotti ja valu (Helsingin satama 2012.)

Käyttäessä itsetiivistyvää betoni muottirakenteen suunnittelussa on otettava huomioon betonimassan aiheuttama hydrostaattinen paine, jotta muottirakenne kestää. Valumuotti voidaan purkaa vasta sitten, kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Yleensä muotit puretaan viikon kuluttua valusta. Muottirakenteiden poistamisen jälkeen on muistettava suorittaa tarvittava jälkihoito, jotta välttyttäisiin lämpöshokin aiheuttamilta mikrohalkeamilta. (Paikkaus muottien avulla 2.232; Betoniteollisuus ry 2012.)

## 4.2 Vedenalainen betonointi

Rakenteita joudutaan betonoimaan veden alla, joko vapaaseen veteen, tai veden täyttämään muottiin, kun kuivien valuolosuhteiden järjestäminen on teknisesti vaikeaa ja/tai taloudellisesti kannattamatonta. Vedenalaista betonointi tekniikkaa sovelletaan valettaessa vesistösiltojen perustuksia, virtapilareita, vesi- ja satamarakenteita ja tukimuureja. Käytettäviä menetelmiä ovat contractor-, vyörytys-, säkkimenetelmä ja uppobetonin käyttö. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 529–532.)

Contractor-menetelmässä betoni siirretään kohteeseen teräksisen valuputken avulla (kuva 11). Jos kyseessä on pumpattava betoni, käytetään halkaisijaltaan 120–150 mm putkea. Painovoimalla tehtävissä valuissa käytetään halkaisijaltaan 200–300 mm olevaa putkea, joka tulee olla pystysuunnassa liikuteltava. Valun aikana putken alapää pidetään 0,5–1 metriä aikaisemmin valetun betonipinnan alapuolella. Contractor-valun ideana on tuoreen betonin valaminen aina aikaisemmin valetun betonimassan sisään niin, että vain ensiksi valettu massaerä on suorassa kosketuksessa veteen ja veden haittavaikutukset kohdistuvat vain pintakerrokseen. Pintakerros voidaan poistaa betonin kovetuttua. Tavallisesti pohjalaattojen valussa käytetään valunopeutta 1 m/h, jolla saadaan aikaiseksi hyvä valu. Valutauko voi yhdessä putkessa olla enintään 30 minuuttia. Lisäksi betonimassan ominaisuudet on valittava niin, että massa täyttää muotin ilman erillistä tiivistystä. Rakenteiden tulee olla useimmiten raudoittamattomia, sillä rauditus vaikeuttaa valuputkien asetusta sekä massan levittämistä ja nousua tavallista betonia käytettäessä. Betonin kelpoisuutta voidaan arvostella betonimassasta tehtyjen koekappaleiden perusteella. Contractor-menetelmästä on olemassa myös erilaisia sovelluksia, joiden tavoitteena on minimoida ympäröivän veden vaikutus betonin ominaisuuksiin. Tällaisia muunneltuja ovat muun muassa vaakasuunnassa siirrettävän valuputken käyttö, pumppuvalu ja konttimenetelmä. Mainitut valumenetelmät soveltuvat pääasiassa laatuvaatimuksiltaan vaatimattomampien rakenteiden betonointiin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 529–532.)



Kuva 11. Contractor-menetelmä (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 94.)

Matalaan alle puolen metrin syvyiseen veteen voidaan betoni valaa vyörytysmenetelmällä siten, että betonimassa pudotetaan aina vedenpinnan yläpuolella olevaan tuoreeseen betoniin. Silloin vain valurintama on kosketuksissa veteen ja huuhtoutuu sen vaikutuksesta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 529–532.)

#### 4.3 Betonin paikkaus

Vaurioita, jotka voidaan korjata paikkaamalla, ovat muun muassa lohkeamat, onkalot ja paikalliset suolakorroosiovauriot. Rakenne voidaan korjata kokonaan entiselleen, pinnoittaa, pinnoittaa ainoastaan teräs korroosion estämiseksi tai tehdä katodinen suojaus. Korjausperiaate määräytyy siitä, johtuuko korroosio betonin karbonatisoitumisesta vai liian suuresta kloridipitoisuudesta. (Betonin paikkaus 1.231, Osa1, 2012.)

## Karbonatisoituneen betonin paikkaus

Karbonatisoituneen betonin paikkaukseen suositellaan käytettäväksi korjausperiaatetta, jossa betoni korjataan entiselleen. Rakenteen raudoitus uudelleen passivoidaan sementtipohjaisella paikkauslaastilla tai betonilla. Rakenne oidaan korjata kahdella eritavalla. Molemmat näistä menetelmistä palauttavat raudoituksen passivoituneeseen tilaan. (Betonin paikkaus 1.231, Osa 2, 2012.)

Ensimmäinen käytettävä menetelmä sopii laajojen betonipintojen korjaukseen. Vanha betoni poistetaan lohjenneilta ja rikkoutuneilta osilta. Kuitenkin jos karbonatisoituminen on edennyt enemmän kuin 20 millimetriä raudoitustangon taakse, se on piikattavat kokonaan esiin. Laajan korjattavan pinnan yli levitetään 20 millimetrin betoni- tai laastikerros. (Betonin paikkaus 1.231, Osa 2, 2012.)

Pienempien korroosiovaurioiden paikkaukseen käytetään toista menetelmää. Betonia piikataan pois niin pitkälle, jonne karbonatisoitumisen arvellaan ulottuvat. Ennen paikkausta raudoituksen pinnalta poistetaan irti lähtevä ruoste, mutta ruosteenestoainetta ei saa käyttää ilman paikkausaineen valmistajan lupaa. (Betonin paikkaus 1.231, Osa 2, 2012.)

Poikkeustapauksissa voidaan käyttää menetelmää, jossa betoni pinnoitetaan kosteuspitoisuuden vähentämiseksi. Tällä menetelmällä ei saada korroosiota täysin pysäytettyä, mutta voidaan pidentää jäljellä olevaa käyttöikää oleellisesti. Pinnoitus estää sadevesien kulkeutumisen betoniin ja kosteuspitoisuus pienenee. Kosteuspitoisuuden pientyessä sähkön vastus kasvaa suuremmaksi ja näin ollen korroosionopeus pienenee olemattomiin. (Betonin paikkaus 1.231, Osa 2, 2012.)

## Kloridipitoisen betonin paikkaus

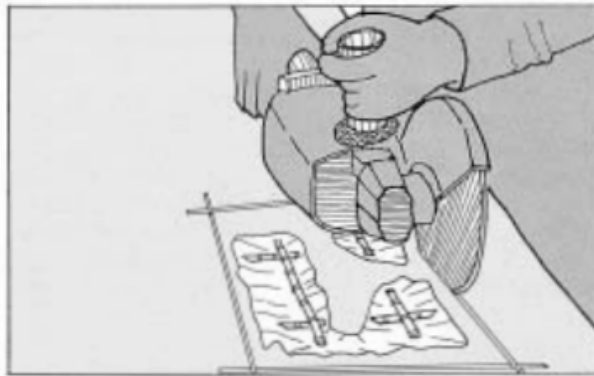
Paikkauksen jälkeisen betonipeitteen ollessa ohuempi kuin 10 millimetriä ei pelkkä laastipaikkausmenetelmä riitä. Betonia on poistettava raudoituksen takaa vähintään 20 millimetriä ja pituussuunnassa vähintään 200 millimetriä ruostuneen alueen ulkopuolelta. Ennen laastipaikkauksen tekoa on raudoitustangot puhdistettava huolellisesti ja pinnoitettava pinnoitteella. Pinnoite estää teräksen korroosion. Pinnoitteen jälkeen rakenteen pintaan levitetään vielä pinnoite, joka estää kloridien tunkeutumisen betoniin.



Mikäli betonin kloridipitoisuus on ylittänyt kriittisen rajan, ei paikallisilla paikkauksilla pysäytetä korroosiota. Tällaisissa tilanteissa käytetään katodista suojasta, joka pidentää rakenteen jäljellä olevaa käyttöikää. (Betonin paikkaus 1.231, Osa 2, 2012.)

#### Paikkaus ilman muotteja

Ilman muotteja paikataan pienehköjä paikallisia vaurioita. Paikattava alue rajataan usein suorakulmioksi vaurioituneen kohdan ympäriltä (kuva 12). Työ tehdään kulmahiomakoneella tai timanttisahalla vahingoittamatta raudoitusta. Tämän jälkeen suorakulmion sisälle jäänyt alue piikataan niin, että piikkaussyvyys on vähintään raudoitus- tangon halkaisijan verran tai 20 millimetriä raudoituksen takana (kuva 13). (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)



Kuva 12. Paikattavan kohdan rajaaminen (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)

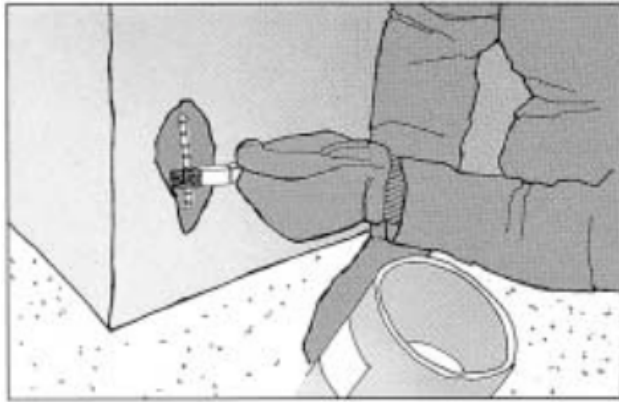


Kuva 13. Paikattavan kohdan piikkaaminen (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)

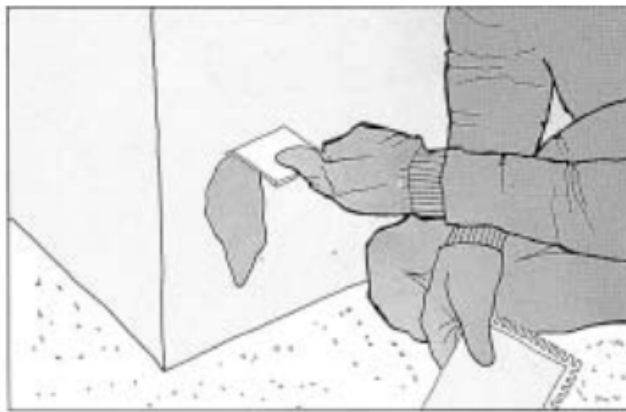
Piikkauksen jälkeen raudoitus putsataan ja käsitellään ruosteenestoaineella. Lisäksi tartuntapinta käsitellään tartunta-aineella (kuva 14). Paikkauslaasti ja massa levitetään lastalla koko alueelle niin, ettei raudoituksen taakse eikä kulmiin jää tyhjää tilaa (kuva



15). Paikkauksen jälkihoito suoritetaan käytettävän paikkausaineen valmistajan ohjeiden mukaan. (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)



Kuva 14. Tartunta-aineen levitys (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)



Kuva 15. Paikkauslaastin levitys (Paikkaus ilman muotteja 2.231, 2012.)

#### Paikkaus muottien avulla

Muottivalua käytetään kun korjataan laajoja betonirakenteiden vaurioita, joihin paikkaus ilman muotteja ei sovellu (Paikkaus muottien avulla 2.232, 2012).

Muottien avulla tehtävässä paikkauksessa paikattava alue rajataan ja käsitellään samalla tavalla kuin muotittomassa paikkauksessa. Vain korjattavan kohteen pinta-ala on huomattavasti suurempi. (Paikkaus muottien avulla 2.232, 2012.)

Ennen betonoinnin aloittamista rakennetaan korjattavan kohteen ympärille muotti, joka soveltuu kohteeseen. Muotin mitoitus ja tiiveys on varmistettava ennen valua. Betonoinnin alkaessa betonipintojen pitää olla kosteita, mutta ne eivät saa olla märkiä.

Tämän jälkeen suoritetaan betonointi sopivalla massalla. Betonimassa sekoitetaan usein työmaalla kuivatuotteista, koska betonia tarvitaan vähän. Korjauskohteelle on tehtävä tarvittavat jälkihoito toimenpiteet. (Paikkaus muottien avulla 2.232, 2012.)

#### 4.4 Manttelointi

Vedenalaisen vaurioituneen rakenteen yksi varmasti käytetyimmistä korjaustavoista on betonimanttelointi. Sitä käytetään muun muassa satamissa sijaitsevien paalujen korjaukseen ja voimalaitosten virtapilareiden korjaukseen (kuva 16). Voimalaitoksissa myös vanhoja manttelointeja korjataan uuden valmistamisen sijasta. Manttelointi tehdään, kun korroosion johdosta rakenteeseen on syntynyt suuri pintavaurio, joka ulottuu raudoitukseen asti. Kyseinen tekniikka vaatii ympärilleen ulkopuolisen tuen, jotta saadaan aikaiseksi kestävä uusi rakenne. Tämän tyyppisissä ratkaisuissa voidaan valmistaa rakenteen ympärille mantteli. (McLeish 1994, 108–109.)

Ennen varsinaisen mantteloinnin aloittamista rakenne puhdistetaan korkeapainepesun avulla, jotta ylimääräinen irtoaines poistuu pinnasta. Tämän jälkeen mantteli raudoituksineen asennetaan paikoilleen kohteen ympärille ja tiukataan tiiviiksi. Manttelin tulee peittää ylä- ja alapuolinen osa vaurioituneesta rakenteesta. Rakenteen ja manttelin välinen tila täytetään joko betonilla tai laastilla alaosasta pumpaten. Tällä voidaan vahvistaa rakenne kestäämään korroosiota. Mantteloinnin pitää pystyä estämään voimien vaikuttaminen pilariin, jonka raudoitus on kärsinyt, ja josta on lähtenyt paloja. (McLeish 1994, 108–109.)



Kuva 16. Betonimanttelilla korjattu paalu (Helsingin satama 2012.)

#### 4.5 Hiilikuituvahvistus

Hiilikuituvahvistus on menetelmä, jolla vahvistetaan perusrakenteita. Suomessa hiilikuituvahvistusta on käytetty pitkälti siltojen korjauskohteissa. Laiturirakenteiden korjauksessa hiilikuituvahvistusta on käytetty teräsbetonipaalujen korjauksessa (kuva 17). Hiilikuituvahvistus soveltuu hyvin erilaisiin rakenteisiin ja materiaaleihin.

Menetelmän etuja ovat sen keveys, hyvä korroosion- ja lämpötilankesto. Se on lähes huomaamaton korjausmenetelmä. Vahvisteita on saatavilla eri muodoissa eri käyttökohteisiin. On olemassa levyjä, tankoja, nauhoja ja kudoksia. Tasopintoja kuten laiturien kansipalkkeja vahvistetaan levyjen, nauhojen ja mattojen avulla. Ne kiinnitetään pinnoille erikoisepokseilla. Kudoksilla vahvistetaan pilareita ja ne kiinnitetään pilarin ympärille. Vahvistaminen estää nurjahtamisen ja paksuilla pilareilla rakenteen pullah-tamisen. Palkin uuman leikkauskestävyyttä voidaan lisätä kylkiin liimattavilla hiilikui-tumatoilla. Liimaamalla palkin alapintaan hiilikuitulevyjä lisätään palkin taivutuskes-tävyyttä. (Saukkonen 2012; Rakenteiden hiilikuitukomposiittivahvistus 2012.)



Kuva 17. Hiilikuitumaton levitys paalun ympärille. (Helsingin satama 2012.)

Kohteen hiilikuituvahvistuksen työ aloitellaan esivalmistelutyöllä. Korjattavat rakenteet tarkastetaan ja dokumentoidaan niissä olevat vauriot. Tarvittavat vedenalaiset erikoislaitteet valmistellaan työtä varten. Vaurioituneen rakenteen ympärille asennetaan tarvittaessa täysin vesitiivis kammio (hermeettinen kammio). Työ suoritetaan kokonaisuudessaan kammiossa kuivatyönä. (Saukkonen 2012.)

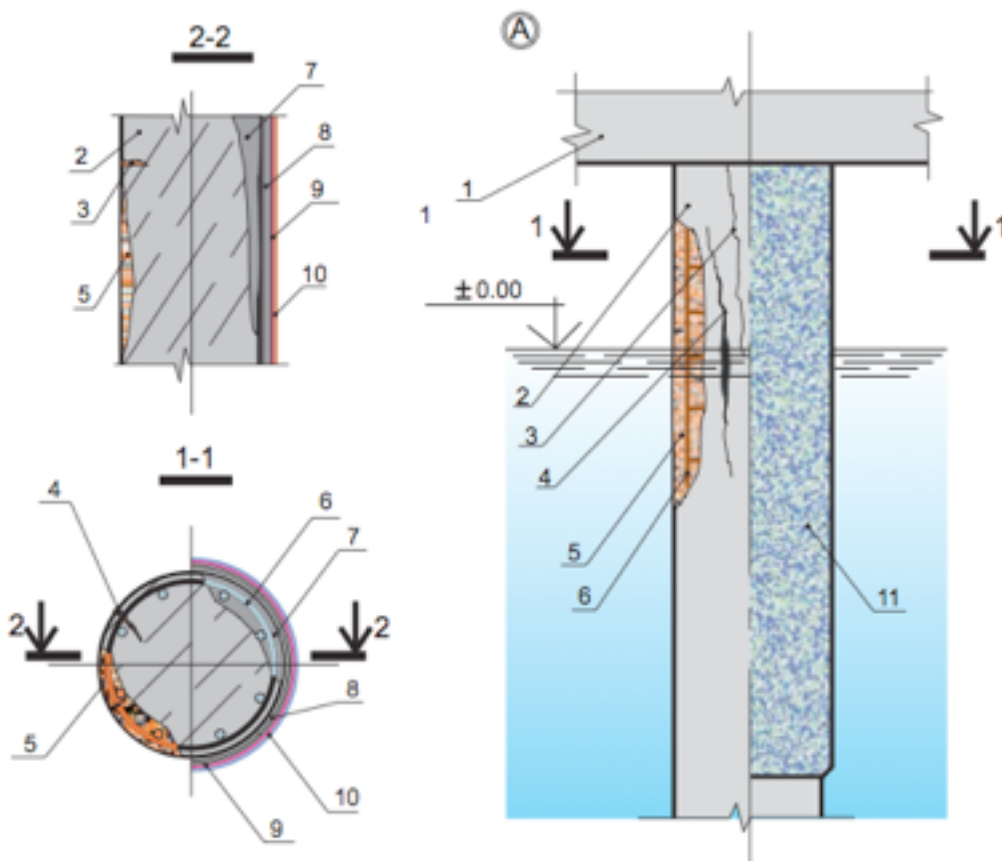
Betonipinta valmistellaan korjaukseen puhdistamalla ja käsittelemällä se asianmukaisesti. Betonipinta puhdistetaan kaikilta epäpuhtauksilta, joita siinä esiintyy. Vedenalaisissa rakenteissa esiintyy merikerrostumia, kasveja, öljytuotteiden aiheuttamia kalvoja, korroosiotuotteita ja pölyä. (Saukkonen 2012.)

Vaurioitunut betoni poistetaan rakenteesta. Paljastunut rauditus puhdistetaan korroosiotuotteilta. Betonin pinta huudellaan makealla vedellä ja käsitellään syöpmisenestoaineella puhdistuksen jälkeen. Myös rauditus käsitellään ruosteenestoaineella puhdistuksen jälkeen. Esivalmistelut on tehty betonipinnalle. (Saukkonen 2012.)

Esivalmistelujen jälkeen betonipinta käsitellään tartuntapohjusteella. Käsittelyn jälkeen rakenteeseen asennetaan valumuotit. Valu suoritetaan polymeerilisäainetta sisäl-

tävällä hienorakenteisella betonilla, jotta saadaan haluttu lopputulos. Valun jälkeen betonipinta kunnostetaan asianmukaisesti ennen hiilikuituvahvistuksen asentamista. (Saukkonen 2012.)

Hiilikuituvahvistus asennetaan rakenteen ympärille. Vahvistuksen päälle levitetään tartuntakerros, jonka jälkeen rakenteeseen tehdään pintavahvistus ja suojapinnoitus (kuva 18). Suojaavat rakennekerrokset estävät kulutuksen ja UV-säteilyn vaikutukset rakenteeseen. Rakenteen ollessa valmis voidaan vesitiivis kammio purkaa. (Saukkonen 2012.)



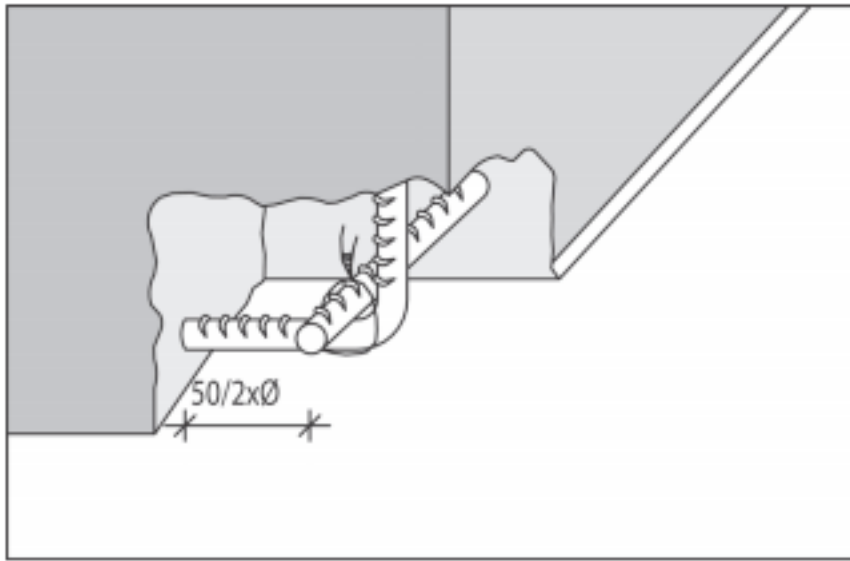
1 – teräsbetoni-laatta; 2 – teräsbetoni-paalu; 3- hiushalkeama; 4 – kehittynyt halkeama; 5 – betonin suojakerroksen vaurio; 6 – korroosion vaurioittama paljastunut rauditus; 7 - betonipaikkaus; 8 – hiilikuituvahvistus; 9 – tartuntapohjuste; 10 - suojapinnoite.

Kuva 18. Teräsbetoni-paalujen korjauksen rakenne- ja tekninen ratkaisu (GT-Corporation 2012.)

#### 4.6 Raudoituksen uusiminen ja lisäraudoitus

Lisäraudoituksia tai kokonaisia raudoitusten uusimisia joudutaan tekemään silloin, kun on tapahtunut teräskorroosiota. Kokonaan paljastuneet ja vahingoittuneet raudoitustangot uusitaan. Betonipeitemittarilla paikannetaan rakenteessa olevat betoniterästangot ennen piikkaustöiden aloittamista. Piikkaustyöt suoritetaan kohteeseen sopivalla menetelmällä. Piikkaustyöt voidaan tehdä koneellisesti tai käsin. Vesipiikkaus on myös suositeltavaa, jos kohde on laaja. (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)

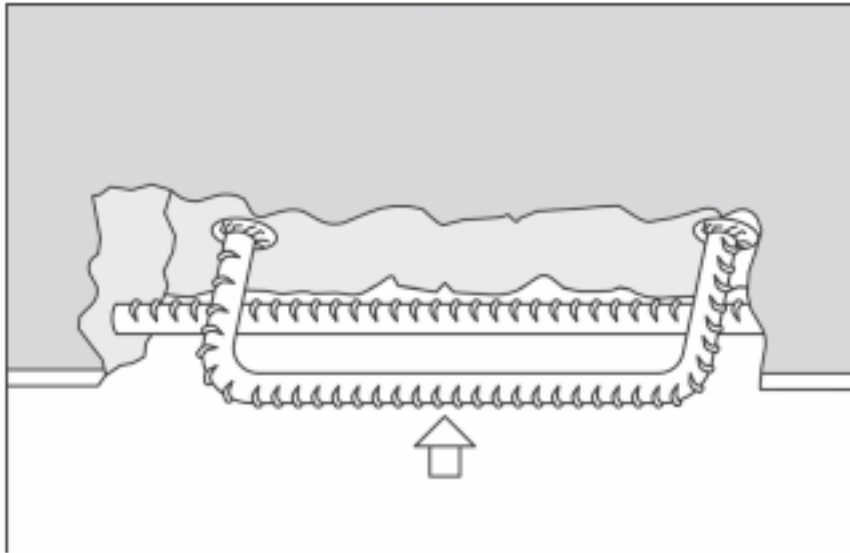
Vaurioitunut betoni piikataan pois kokonaan rakenteesta yleensä terästangon suuntaisesti mahdollisuuksien mukaan. Rakenteesta piikataan tangon suuntaisesti niin paljon, että ankkurointi tai jatkos saadaan tehtyä ongelmitta. Uuden tangon asentamisen helpottamiseksi piikataan 50 mm vanhan betoniterästangon taakse (kuva 19). Piikkaustöissä pyritään siihen, että paikalleen jäävä betoni ei vaurioidu. (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)



Kuva 19. Piikkaus ulotetaan riittävästi betoniterästangon taakse (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)

Uuden terästangon asentamiseen on useampi eri vaihtoehto. Uusimisessa voidaan käyttää lenkkejä, jotka kiinnitetään ankkuroimalla (kuva 20). Tässä menetelmässä on otettava huomioon tarvittavat reiät, jotta lenkki saadaan asennettua. Limitsjatkoksessa vanha betoniterästanko ja uusi tanko limitetään jatkospituuden verran. Jatkoksien ollessa useampia voidaan käyttää hitsausjatkosta erillisen ohjeen mukaan. Lisäksi voi-

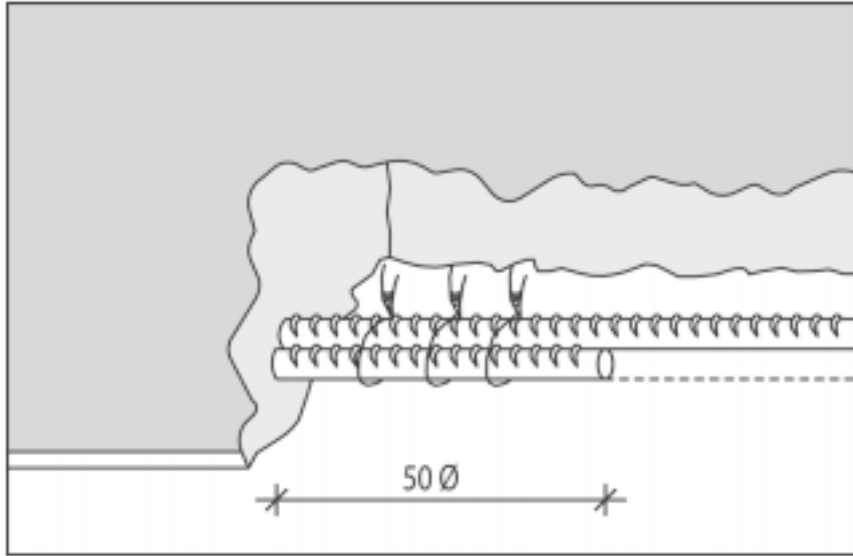
daan käyttää muhviiliitoksia ja jatkaa tankonippuja. Liitokset tehdään suunnittelijan esittämällä tavalla. Tankonippujen jatkaminen vaatii erillisen suunnitelman, jonka mukaan työ suoritetaan. (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)



Kuva 20. Lisälenkki kiinnitetään ankkuroimalla (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)

Vanhoja vaurioituneita terästankoja ei poisteta, jos se ei ole välttämätöntä. Tangon katkaisutarve määritellään kohteen mukaan (kuva 21). Katkaisu suoritetaan kulmahiomakoneen laikalla tai rautasahalla. Kaikki vanhat tangot puhdistetaan. Tankojen sidoksissa käytetään kuumasinkittyjä tai ruostumattomia siteitä. Rakenne paikataan asianmukaisesti tankojen asentamisen jälkeen. Betonin paikkaustapa määräytyy kohteen mukaan. (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)





Kuva 21. Limitsjatkosta varten katkaistu betoniterästanko (Raudoituksen uusiminen 2.262, 2012.)

#### 4.7 Voimalaasti-korjausmenetelmä

Voimalaasti-korjausmenetelmä on käytössä erityisesti vedenalaisissa korjauksissa, mutta sitä voidaan käyttää myös vedenpäällisissä töissä. Tässä korjausmenetelmässä käytetään voimalaastia, joka on sitkeä, nopeasti kuivuva ja ympäristöystävällinen erikoislaasti. Laastin veteen liukenemattomuus mahdollistaa sen käytön myös veden alla kovissakin virtauksissa. Ominaisuuksien ansiosta vältetään kalliilta erikoisratkaisuilta, kuten suojapatojen rakentamiselta. (Powermortar 2012b.)

Korjattavat vauriot ovat yleensä halkeamia ja saumojen korjauksia. Voimalaasti voidaan ruiskuttaa suoraan korjattavaan kohteeseen, jos kyseessä on kohtuullisen kokoinen kohde. Suurimmissa kohteissa käytetään tukiverkkoa tai muottirakennetta ennen ruiskuttamista. Vedenalaisissa rakenteissa korjauskohteina voivat olla muun muassa vesivoimalaitokset, sillat, padot ja tunnelit. (Powermortar 2012b.)

Työssä käytettäviä materiaaleja saa vain hyväksytyiltä ja valtuutetuilta toimittajilta. Työmaalla tarkistetaan vastaanotetut pakkaukset mahdollisilta vaurioilta. Kohteen materiaalit on säilöttävä oikein, jotta ne ovat käyttökelpoisia. Materiaalit on suojattava sateelta ja kosteudelta. Myöskään suora auringonpaiste eikä pakkanen ole hyväksi tuotteille. Katalysaattorisäiliö tulee säilöä niin, että se ei pääse jähmettymään (vähintään + 12 °). (Powermortar 2012b.)



Laitteiston kokoaminen ja käyttäminen on oma projektinsa korjauskohteessa. Myös projektin toteuttaminen vaatii ammattitaitoa. Koko projekti vaatii koulutetun ja ammattitaitoisen henkilöstön. Korjaushankkeen henkilöstöön kuuluu sukeltaja ja hänen avustajansa, laastin sekoittaja ja työnjohtaja. Työnjohtaja valvoo työtä lautalla ja avustaa muita ryhmän jäseniä. (Powermortar 2012b.)

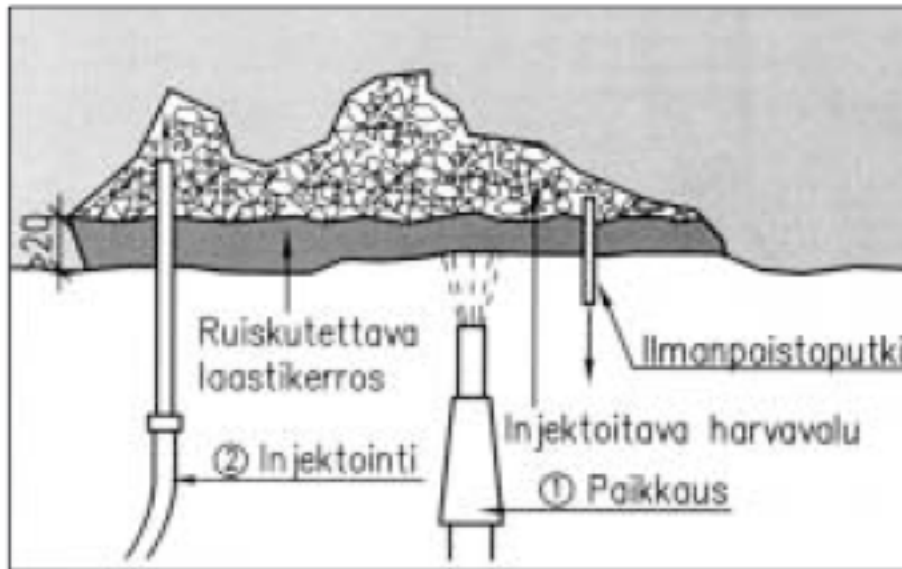
Normaalisti voimalaastia työstäessä tarvitsee vähintään lämpötilan olla  $+5^{\circ}\text{C}$ , mutta kuitenkin enintään  $+25^{\circ}\text{C}$ . Ulkoilman lämpötilan ollessa yli  $+25^{\circ}$  on sekoitus- ja pumppausasema sijoitettava jäähdytettyyn tilaan tai laastin sekoitussuhteita muutettava. (Powermortar 2012b.)

Massa valmistetaan sekoitus- ja pumppausasemalla työmaalla. Sekoituksen työstöaika vaihtelee puolesta tunnista tuntiin, ulkolämpötilan ollessa  $+25\dots+15^{\circ}$ . Laitteisto koostuu betonimyllystä, jonka tilavuus vähintään 100 litraa ja potkuri pumpusta, joka pumppaa 1–5 minuutissa. Pumppausvauhtia voidaan tarvittaessa muuttaa laitteistosta. (Powermortar 2012b.)

#### 4.8 Injektointi

Halkeamat, onkalot ja muut valuviat voidaan korjata injektointibetonoinnin ja injektoinnin avulla (kuva 22). Injektoinnin kustannukset ovat suhteellisen suuret, ja se on vaikea tehdä. (McLeish 1994, 43.)

Injektointivaiheessa on tärkeää määrittää, mistä kyseinen halkeama johtuu. Halkeaman kohdistuvat liikkeet voivat haitata injektointityötä ja halkaista sulkuaineen. Tästä voi myös johtua myöhemmin injektoidun halkeaman viereen syntyvät uudet halkeamat. Injektoimalla pyritään estämään halkeamista ja onkaloista johtuvat vaikutukset, sillä pyritään tiivistämään rakennetta ja saavuttamaan rakenteen alkuperäinen lujuus. Injektoimalla pyritään estämään raudoituksen korroosion syntymistä ja muiden haitallisten aineiden pääsyä rakenteisiin, sekä estämään vesivuodot. Injektointi voidaan suorittaa veden alla, mutta se vaatii erikoisia tekniikoita. Vedenalaisia injektointeja tehtäessä on suunnittelu tehtävä alan ammattilaisten avulla. Siltarakenteiden injektointikohteita ovat muun muassa päällysrakenteen taivutus- ja leikkaushalkeamat ja avonaiset työsaumat. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)



Kuva 22. Onkalon injektointi (Sementti-injektointi 2.237, 2012.)

### Muovi-injektointi

Betonirakenteiden injektointiin sopii parhaiten epoksi, mutta myös polyuretaani ja akryyli ovat käyttökelpoisia muoveja. Muovi-injektoinnissa laitteena on käsikäyttöinen puristin tai konekäyttöinen pumppu. Näillä välineillä injektointiaine puristetaan tai pumpataan kohteeseen. Epoksi-injektoimalla rakenne korjataan alkuperäiseen lujuuteen. Polyuretaani-injektoimalla saadaan vesitiiveyttä ja mahdollisesti lujuutta. Suurin osa polyuretaaneista kestää vettä, joten niitä voidaan käyttää vettä vuotavissa kohteissa ilman muita toimenpiteitä eli veden tulon pysäyttämistä. Kuitenkaan kaikki polyuretaanit eivät kestä vettä, joten on otettava huomioon aineen vesiliukoisuus. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

### Sementti-injektointi

Injektointimassan koostumus on verrannollinen halkeaman leveyteen. Injektointimassa on saataville mikro- tai hienosementtiliimaa, rakennussementtiliimaa ja sementtiliimaa. Valmistaja antaa ohjeet sementtiliiman tai -laastin sekoitukseen. Pienissä kohteissa käytetään yleensä käsipumppua (sementtiliima)(kuva 23), mutta suuremmat määrät työstetään konepumppulla (sementtiliima ja sementtilaasti). (Sementti-injektointi 2.237, 2012.)



Kuva 23. Käsitoiminen injektointipumppu (Sementti-injektointi 2.237, 2012.)

#### Vedenalainen injektointi

Vedenalaisia injektointeja joudutaan tekemään sillankorjaustöissä sekä satamarakenteiden korjaustöissä. Injektointia käytetään muun muassa suljettaessa työsaumoja, halkeamia ja onkaloita. Vedenalainen injektointi on vaativaa erikoisosaamista. Kalustona toimii periaatteeltaan samanlainen kalusto kuin kuivatyökohteissa, ja lisäksi tarvitaan sukelluskalusto. Työtä tehdessä on otettava huomioon erilaisia seikkoja, joita kuivatyössä ei tarvitse huomioida. On tärkeää huomioida ja estää ympäristölle aiheutuvat vaarat käytettävistä aineista. Vedenalaista työskentelyä vaikeuttavat oleellisesti veden kovat virtaukset. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

#### Imeytys

Halkeamat, jotka ovat aiheutuneet plastisesta kutistumasta tai painumasta, voidaan korjata imeyttämällä. Suljettavissa oleviin halkeamiin sisältyvät pienet 0,1–0,2 mm:n halkeamat, jotka sijaitsevat reunapalkeissa, kaidepylväiden juurikorokkeissa ja ajo-tielaatoissa. Tällaisia halkeamia ei lueta rakenteellisiksi halkeamiksi. Imeytys eroaa injektoinnista muun muassa siinä, että se ei korjaa betonia rakenteellisesti, eikä siis sovellu rakenteellisten halkeamien korjaamiseen. (Halkeamien korjaaminen 1.233.)

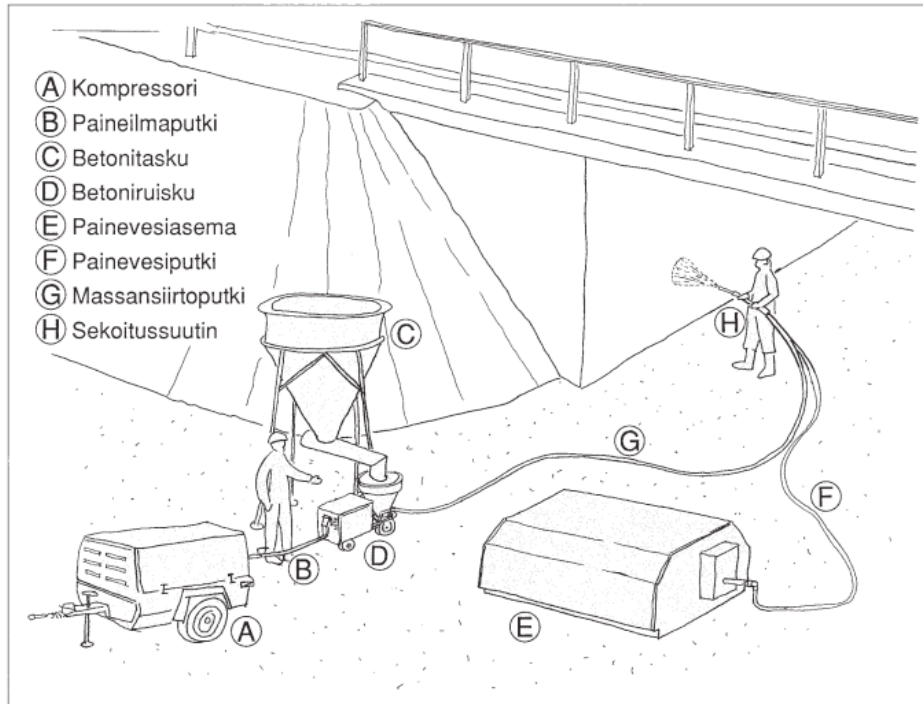
Imeytys voidaan tehdä kolmella eri menetelmällä. Ensiksikin imeytysaine voidaan kaataa suoraan halkeaman päälle ja ohjata se lastalla tai siveltimellä halkeamaan. Toinen vaihtoehto on tehdä halkeaman ympärille kaukalo, josta imeytysaine valuu halkeamaan. Viimeinen vaihtoehto on käyttää imeytyssuutinta tai imeytyspulloa, josta imeytysaine johdatetaan halkeamaan. Imeytysaineen kannalta on tärkeää puhdistaa halkeama hyvin, esimerkiksi tehokkaalla teollisuuspölynimurilla. Pienissä halkeamisissa imeytysaineen tehostamista voidaan vahvistaa leikkaamalla kulmahiomakoneella ja timanttilaikalla railoa isommaksi. (Halkeaman imeytys 2.239, 2012.)

#### 4.9 Ruiskubetonointi

Ruiskubetoni on betonia, joka tiivistetään paineilman avulla. Ruiskubetonoinnilla voidaan korjata niin laajat kuin pienetkin kohteet. Siltojen korjauksessa käytetään pelkästään kuivaseosmenetelmää. Ruiskubetonoinnin avulla voidaan uusia laajoja betoni- peitteitä tai paksuntaa niitä. Lisäksi voidaan vahventaa rakenteita ja näin ollen lisätä kapasiteettiä, täyttää rakenteisiin jääneitä onkaloita ja suojata niitä. Ruiskubetonointia käytetään myös suojaamaan anodiverkkoa, jota käytetään raudoituksen katodisessa suojauksessa. Ruiskubetoni on kestävä ja helppokäyttöistä. Hyvän lopputuloksen jälkeen ruiskubetoni on tiivistä ja pakkasenkestävää. Laatuun vaikuttavat oleellisesti työn aikaiset olosuhteet ja jälkihoito. Ruiskutusmenetelmät jaetaan kuivaruisku- ja märkäruskuksimenetelmään. Ejektoinnilla voidaan tehdä pienehköjä paikkauksia. Jälkihoito on ruiskubetonoinnille tärkeää, sillä voidaan vaikuttaa oleellisesti ruiskubetonin säilyvyyteen ja muihin ominaisuuksiin. (Betonointi ruiskuttamalla 1.232, 2012.)

##### Kuivaruiskumenetelmä

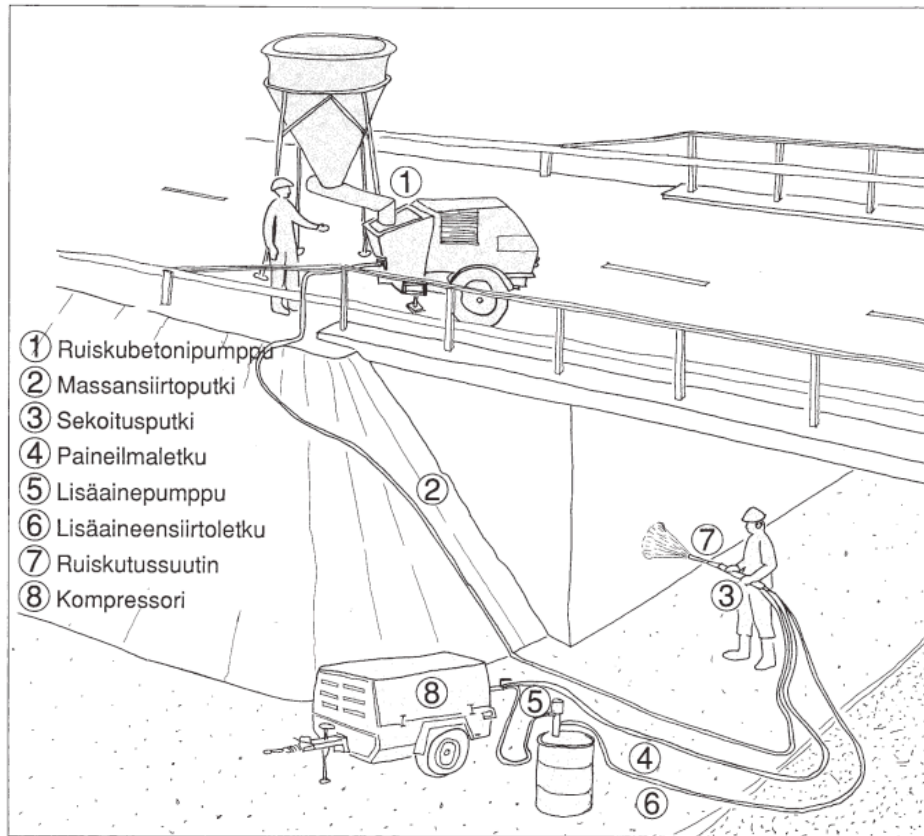
Kuivaruisku-menetelmässä betoniseos puhalletaan paineilman avulla siirtoletkua pitkin betonointipaikalle. Kuivabetoniseos sisältää sementtiä ja luonnonkuivaa kiviainesta. Paineilman avulla betoni sinkoutuu betonoitavaa alustaa vasten suurella nopeudella, mikä takaa hyvän laadun pinnalle. Siirtoletku voi olla jopa 100 metriä pitkä. Betoniseokseen lisättävä vesi tulee siirtoletkun päässä olevasta ruiskuottimesta. Vähäinen vedentarve seoksessa parantaa pakkasenkestävyyttä ja muita säilyvyysominaisuuksia. Kuivaseosruiskutuksessa hukkaroiske on melko suuri, mikä pitää ottaa huomioon työtä suunniteltaessa. (Concrettec 2012; Betola 2012.)



Kuva 24. Kuivaseosmenetelmän ruiskutuskalusto (Betonointi ruiskuttamalla 1.232.)

#### Märkäruiskumenetelmä

Märkäruiskumenetelmässä käytetään valmiiksi sekoitettua betonimassaa. Massa sekoitetaan työmaalla valmiiksi, eikä tällöin erillistä veden lisäystä tarvita. Tasalaatuinen betonimassa pumpataan ruiskuottimella betonointikohteeseen. Märkäseosmenetelmä sopii muun muassa uusien siltojen ruiskutukseen. Märkäseosmenetelmässä käytettävä robottikalusto on tehokas, mutta kallis. Märkäseosmenetelmä käsikalustoa käyttäen sopii korjausrakentamiseen. (Concrettec 2012; Betola 2012.)



Kuva 25. Märkeseosmenetelmän ruiskutuskalusto (Betonointi ruiskuttamalla 1.232, 2012.)

## 5 MATERIAALIT

### 5.1 Laastit

Useilla materiaalitoimittajilla on tarjolla erilaisia materiaaleja betonirakenteiden vedenalaiseen paikkaukseen. Jokaisella paikkausaineella on omat käyttöselosteet ja käytöturvallisuustiedotteet, joita on noudatettava. Useimmat paikkausaineet ovat sementtipohjaisia. Tuotteet on lähes poikkeuksetta valumattomia ja nopeasti kovettuvia aineita. (Aalto 2012.)

Markkinoilla on laasteja, jotka ovat tarkoitettu raudoituksen käsittelyyn suojaamaan korroosiolta. Laastit sisältävät aineita, jotka estävät korroosiota ja palauttaa raudoituksen ympärillä olevan alkalipitoisuuden. Korroosiosuojalaastit parantavat varsinaisen korjauslaastin tartuntaa. (Rescon Mapei 2012; Weber Oy 2012b.)

## 5.2 Uppobetoni

Uppobetonia on käyttötarkoituksen mukaan saatavissa kahta eri tyyppiä joko suoja-verhouksiin tai muotteihin valettaviin raudoitettuihin rakenteisiin. Muottiin valettava uppbetoni on pumpattavaa erikoisbetonia. Sitä voidaan käyttää Contractor valussa tai sitä voidaan pumpata suoraan valukohteeseen. Betonipumpun letkun ei tarvitse olla massan sisällä niin kuin normaalia betonia käytettäessä. Uppobetoni on voimakkaasti notkistettua niin, että massa siirtyy raudoitetussakin rakenteessa useita metrejä sivusuunnassa, tasaantuen itsestään lähes vaakasuoraksi. Lisäksi sen lujuus vastaa normaalia rakennebetonia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 533.)

## 5.3 Rakennebetoni

Vedessä olevat betonirakenteet ovat ankarissa ympäristöolosuhteissa, ja vaativimmat olosuhteet ovat veden vaihtelualueella. Käytettävän betonin tulee olla mahdollisimman tiivistä, jotta se suojaa betoniraudoitusta korroosiolta. Betonin tiiviytteen voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota muun muassa sementtilaatuun, kiviaineksen laatuun, vesisementtisuhteeseen ja lisäaineiden käyttöön. Ympäristöolosuhteiden vuoksi rakenteiden betonilta vaaditaan voimaa ja lujuutta, jotta saavutetaan vaadittava kulumuskestävyys. Kiviaineksen ominaisuuksilla on keskeinen merkitys myös kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksena voidaan käyttää luonnon kiviaineksia tai keinotekoisista kiviainesta kuten kevytsoraa. Kiviaineksen tulee olla kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivaa. Kiviaines ei saa sisältää haitallisia aineita, jotka vaikuttavat betonin ja raudoituksen ominaisuuksiin. Kiviainekset eivät saa olla rapautuneita ja niiden tulee olla tarpeeksi tiiviitä, lujia ja pakkasenkestäviä. Betonin valmistamiseen tulee käyttää SFS-EN 12620:n mukaista kiviainesta, ja sen tulee olla CE-merkittyä ja tarkastettua. (Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 2012; Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 31-32; RIL 236-2006, 78–79.)

Kiviaineksen tilavuusosuus on 65...80 % betonin tilavuudesta, joten on selvää että kiviaineksen rakeisuus vaikuttaa oleellisesti myös betonimassa ominaisuuksiin. Rakeisuus määritellään seulonnan avulla, jossa selvitetään eri kokoisten rakeiden jakautuminen. Kiviainesten raemuoto ja puhtaus vaikuttavat betonin ominaisuuksiin rakeisuuden lisäksi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 33; Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 2012; RIL 236-2006, 82.)

Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa betonin lujuuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyys. Reagoidessaan veden kanssa sementti muodostaa kovan ja kestävä lopputuotteen. Suomen Betoniyhdistys ry:n kirjassa Betoninormi 2004 (BY 50) on esitetty eri rasitusluokissa sallitut sementtilaadut. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 39; RIL 236-2006, 79.)

Polymeerejä voidaan käyttää joko sideaineena tai rakennussementin lisäaineena. Polymeerien lisäksi betoni sisältää myös rakennussementtiä. Polymeerien määrästä riippuen tuotetta kutsutaan polymeerisementtibetoniksi tai polymeerimuunnosbetoniksi. (Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 2012.)

Seosaineita voidaan käyttää betonin side- ja runkoaineena. Yleisimpiä seosaineita ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe ja silika. Masuunikuonajauhe sopii hyvin käytettäväksi maan ja veden alla tehtäviin valuihin. Silikan käyttö betonissa lisää sen tiiviyyttä, lujuutta ja vedenpitävyyttä. Samalla betonin sähköinen vastus nousee, josta korroosion alkaminen viivästyy tai sen eteneminen hidastuu. Silikabetonin käyttöä suositellaan, kun betonirakenteilta odotetaan pitkää käyttöikää. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 60; RIL 236-2006, 82.)

Vesijohtoverkoston vesi ja juomakelpoinen vesi kelpaa betonin valmistukseen ja jälkihoitoon (Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 2012).

Lisäaineiden avulla voidaan muuttaa tuoreen betonimassan tai kovettuneen betonin ominaisuuksia. Käytettävien lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä tai niillä tulee olla selvitys ominaisuuksista, vaikutuksista sekä käyttökelpoisuudesta betonissa. Selvityksen pitää perustua hyväksytyssä koestuslaitoksessa tehtyihin kokeisiin. Notkistimien käyttö betonimassassa lisää sen muokattavuutta. Huokostimien avulla voidaan parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Hidastimien avulla lykätään betonin sitoutumista myöhemmäksi, kun taas kiihdyttimiä käytetään nopeuttamaan sitoutumista tai kovettumista. Lisäksi on muita tiivistys-, injektointi ja tartunta-aineita, jotka ovat harvinaisemmassa käytössä. (Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 2012; Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 63–68.)



## 5.4 ITB-betoni

Itsetiivistyvän betonin suurin ero verratessa tavanomaiseen betoniin on sen kyky täyttää muotti ja ympäröivä raudoitus ilman, että sitä tarvitsee erikseen tiivistää mekaanisesti. Ulkomailla ja Suomessa on iso määrä erilaisia ITB-massoja. Erot muodostuvat käytettävistä lisähienoaineksista, joita voivat olla muun muassa sementti, lentotuhka tai reagoimaton jauhemateriaali. Viskositeettiominaisuuksien muutoksiin voidaan käyttää stabilaattoria. (Suomen Betonitieto Oy 2004, 8–12.)

Itsetiivistyvää betonia käytetään kohteisiin, joissa normaalia niin sanottua tiivistettävää betonia on vaikea tai jopa mahdoton käyttää. Itsetiivistyvän betonin avulla erittäin vaikeasti toteutettavien korjaus- ja saneerauskohteiden betonointi onnistuu hyvin. Lisäksi saavutetaan rakenteeseen hyvä säilyvyys ominaisuus ja tiiviys. (Suomen Betonitieto Oy 2004, 8–12.)

ITB on helppo valaa voimakkaasti raudoitettuihin ja monimuotoisiin rakenteisiin. Koska sitä ei tarvitse lainkaan mekaanisesti tiivistää, sitä käytetään paljon raudoitukseltaan tiheissä esijännitetyissä palkeissa, joiden onnistunut tiivistäminen on normaalisti erityisen vaikeaa (kuva 26). Tällaisena rakenteena voidaan pitää myös laitureiden ja siltojen pilareita. (Suomen Betonitieto Oy 2004, 8–12.)

Itsetiivistyvä betoni on luja, koska siinä on paljon sementtiä ja jauhemateriaalia. ITB:n mikrorakenne on tyypillisesti tiivis ja tasainen. Se on parhaimmillaan erittäin stabiilia, ja muun muassa veden erottuminen on vähäistä. Siksi ITB:n mekaaniset ja säilyvyysominaisuudet ja niiden homogeenisuus valituissa rakenteissa on todettu hyviksi. (Suomen Betonitieto Oy 2004, 8–12.)

ITB:n huono puoli on, että se vaatii tavallista lujemmat ja paremmin sidotut muotit, erityisesti korkeissa seinä- ja pilarivaluissa, joissa hydrostaattinen paine voi kasvaa suureksi. Näin ollen muottien kustannukset saattavat olla korkeita. (Suomen Betonitieto Oy 2004, 8–12.)



Kuva 26. IT-betonilla korjattuja palkkeja (Helsingin satama 2012.)

### 5.5 Sebera vesibetoni

Sebera vesibetoni on monikäyttöistä betonia. Se soveltuu veden alla, vesirajassa ja veden päällä tehtäviin töihin. Käyttökohteita on paljon, muun muassa laituri-, kanava- ja siltarakenteet. Sebera-vesibetonilla on helppo ja nopea tehdä vedenalaisia korjauksia. (Sebera 2012.)

Sebera on huuhtoutumaton materiaali, joten sitä on helppo työstää. Aineosat eivät erotu toisistaan missään työvaiheessa. Kovan kulutuskestävyydessä ansiosta jälkikorjaukset eivät ole olleet tarpeen tähän mennessä. Tarttuvuus on taattu betoni- ja teräsrakenteisiin. Materiaali kestää hyvin kohteissa, joissa kulutus ja rasitus on kovaa. Seberan työstäminen ei vaadi erityistoimenpiteitä. Ominaisuuksien ansiosta materiaalia voidaan käyttää myös voimakkaasti virtaavissa vesissä ja aallokossa. Perinteisiä muotitus- ja kuivaustoimenpiteitä ei tarvita, kuten tavanomaista betonia käytettäessä. (Sebera 2012.)

Työskenneltäessä liikennöidyssä satamassa korjaustöitä helpottaa, jos niitä voi tehdä, vaikka laituri olisi käytössä. Vaativien ja aikaa vievien muottien asennusten pois jäämisen ansiosta menetelmä on varsin kustannustehokas ratkaisu vedenalaisiin korjauk-

siin. Sebera-vesibetoni on todella kilpailukykyinen tuote nykymarkkinoilla. (Sebera 2012.)

## 5.6 Voimalaasti

Voimalaasti on massa, joka on kehitetty suomen suurimmassa betonilaboratoriossa. Yhteistyössä on ollut mukana Tekninen korkeakoulu ja Imatran Voiman teknologian-keskus. Massaa käytetään vaativissakin kohteissa, koska se soveltuu hyvin tähän tarkoitukseen ominaisuuksiensa puolesta. Voimalaasti on ympäristöystävällistä, mutta on kuitenkin valmistettu epäorgaanisista aineista. (Powermortar 2012b.)

Voimalaastin valmistuksessa käytetään hiekkaa, sideaineita, aktivaattoreita, katalysaattoreita, lisäaineita ja vettä. Aineet sekoitetaan sekoitusasemalla. Kuivat aineet ja lisäaineet kaadetaan sekoittimeen ja lisätään vesi ja reagoivat aineet vähitellen. Sekoitusaika vaihtelee 10 ja 20 minuutin välillä lämpörihlan ollessa +25...+15 °. (Powermortar 2012b.)

Voimalaastilla on hyvät ominaisuudet. Voimalaastilla on kyky estää teräksen ruostumista betonissa emäksisyytensä vuoksi. Lisäksi se laskee vettä lävitse, eikä se karbonatisoidu. Voimalaastin kulutus- ja lujuusominaisuudet on hyvät. Tartunta erilaisiin pintoihin voidaan taata varmuudella. (Powermortar 2012b.)

Voimalaastia voidaan käyttää sekä vedenalaisissa että vedenpäällisissä töissä. Massalla korjataan kivi- ja betonirakenteita. Nopeasti kovettuvaa voimalaastia voidaan käyttää veden alla, vaikka veden virtauksen vuoksi muiden materiaalien käyttö olisi mahdotonta. Sitkeää ja koossapysyvää massaa on helppo työstää, eikä se tarvitse erillisiä muotteja. (Powermortar 2012b.)

Voimalaasti- tuotteissa on myös mukana injektointi- ja ankkurointimassa ja ruiskubetonit. Injektointituotteena koostumusta muutellaan kohteen ja olosuhteiden mukaisesti. Ruiskubetonoinnissa saavutetaan voimalaastilla todella korkea lujuus. Massan ominaisuuksien myötä voimalaasti sopii hyvin ankkurointimassaksi. (Powermortar 2012b.)

## 5.7 Ruiskubetoni

Ruiskubetonoinnissa käytettävän betonin on täytettävä standardien vaatimukset. Kiviaineksena ruiskubetonissa käytetään luonnonsoraa. Erityisiä vaatimuksia kiviainekselle asetetaan silloin, jos ruiskubetonin pinnalta vaaditaan erityisiä ominaisuuksia. Vaatimuksia voidaan asettaa muun muassa raemuodolle, pakkasenkestävyydelle ja tilavuuden pysyvyydelle. Suositeltavan kiviaineksen rakeisuuden voi halutessaan tarkastaa standardeissa esitetyistä käyrästöistä. (Betonointi ruiskuttamalla 1.232; Rudus Oy 2012; Weber Oy 2012a.)

Ruiskubetonissa käytettävä sementti valitaan korjauskohteen mukaan. Työssä voidaan käyttää joko normaalisti tai nopeasti kovettuvaa sementtiä. Seokseen tarvittavan veden täytyy olla puhdasta ja kirkasta. Vaatimukset koskevat sekä työnaikana että jälkihoidon aikana käytettävää vettä. Liikaa klorideja sisältävä vesi ei käy osa-aineeksi. Vesistöistä otettavan veden epäpuhtaudet on tutkittava ennen sen käyttöä. (Betonointi ruiskuttamalla 1.232; Rudus Oy 2012; Weber Oy 2012a.)

Lisäaineiden käytöstä täytyy laatia ohjeet. Käytettävä lisäaine määräytyy kohteen mukaisesti. Voidaan käyttää tarvittaessa kiihdytteitä, huokosteita ja notkisteita. Teräs- ja polymeerikuituja voidaan käyttää parantamaan betonin vetolujuutta. Betonin kutistumista rajoittava rauditusverkko voidaan korvata muun muassa teräskuiduilla. Yleisesti teräskuituja käytetään tarpeeksi syvälle jäävissä kerroksissa, koska ne ruostuvat ja saavat aikaan epämiellyttävän pinnan. (Betonointi ruiskuttamalla 1.232; Rudus Oy 2012; Weber Oy 2012a.)

## 5.8 Injektointiaineet

Injektointiaineet luokitellaan standardin mukaisesti toimintansa perusteella.

### Sementti-injektointiaineet

Reagoidessa veden kanssa sementistä muodostuu kova sementtikivi. Muuttuminen sementtikiveksi on kaksivaiheinen, sitoutuminen ja kovettuminen. Valittaessa sementtilaatu on otettava selvää ominaisuuksista, jotka vaikuttavat injektoitavuuteen, ja asiasta jotka vaikuttavat työturvallisuuteen. Sementit voidaan jakaa kolmeen ryhmään

raekokojensa perusteella. Mikrosementti on hienoin sementtilaji, jota käytetään injektointilaastissa. Se on erittäin hienojakoista. Käyttäessä mikrosementtiä saadaan matalaviskositeettinen injektointilaasti. Hieno sementti eroaa mikrosementistä suuremmalla raekolla. Raekoko vaikuttaa oleellisesti injektointivuuteen. Rakennussementtejä käytetään sementti-injektoinnissa ja injektointibetonoinnissa. Näihin sementteihin liittävä veden on oltava standardien mukaista, mutta vesijohtoverkosta otettu vesi kuitenkin kelpaa valmistukseen. Valmistuksessa useimmiten käytetään tarpeen mukaan muun muassa paisuttavia, notkistavia lisäaineita. Ennen käyttöä on vahvistettava lisäaineiden yhteensopivuus ja vaikutus. Lisäksi voidaan käyttää seos- ja väriaineita, joiden tarpeellisuuden määrää tilaaja. Väriainetta käytetään yleensä, jos halutaan parantaa aineen havaittavuutta kohteessa. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

#### Muovi-injektointiaineet

Muovi-injektointiaineisiin luetaan epoksit, polyuretaanit ja akryylit. Valittaessa aineita on huomioitava niiden kaikki ominaisuudet tarkasti. Lisäksi aineen kuljetukseen ja varastointiin liittyvät seikat on otettava huomioon. Epoksien alhaisella viskositeetilla pyritään siihen, että aine tunkeutuisi halkeamaan helposti. On todettu, että epoksin tartunta kuivaan sekä kosteaan pintaan on riittävä. Käyttäessä epokseja injektoinnista ei synny ylimääräisiä haitallisia sivutuotteita. Kestävyydeltään ja lujuudeltaan epoksit ovat hyviä. Käytettäessä polyuretaania on huomioitava, että eri tyypit eroavat toisistaan. Polyuretaanien ominaisuudet ja reaktiot ovat tyypikohtaisia. Kuitenkin tyypillistä polyuretaaneille on paisuminen 0–10-kertaiseksi käyttökohteissa. Polyuretaaneja käytetään sillankorjaustoissa vesivuotojen korjaamiseen halkeamissa ja työsaumoissa. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

#### Sulkuaineet

Sulkuaineet ovat tyypillisesti polyesteri-, epoksi-, akryyli- ja polyuretaanipohjaisia sekä sementtipohjaisia sulkuaineita. Sulkuaineen tarkoitus on estää injektointiaineen vuotamista täytettävästä halkeamasta tai muusta tyhjätalasta. Tämä tapahtuu tiivistämällä injektointirakenteen pinta. Polyuretaania tai tiksotrooppista epoksia injektointiaessa ei tarvita sulkuaineita. Tämä johtuu siitä, että näiden rakenne on sellainen, että ne eivät pääse vuotamaan helposti pois halkeamista, mutta rakenne voidaan joutua

sulkemaan ulkopinnasta. Lisäksi vesivuodot voidaan aluksi sulkea polyuretaanilla. (Halkeamien korjaaminen 1.233, 2012.)

## 5.9 Polymeerit

Polymeerimateriaaleja kuten kumeja ja muoveja saadaan sekoittamalla erilaisia lisäaineita polymeereihin. On olemassa luonnonpolymeerejä, jotka esiintyvät kasveissa ja eläimissä. Luonnonpolymeereihin kuuluvat muun muassa silkki, luonnonkumi ja proteiinit. Toinen pääryhmä on synteettiset polymeerit, jotka valmistetaan pääsääntöisesti öljynjalostuksen tuotteista. Synteettisiä polymeerejä ovat esimerkiksi epoksit, polyakrylaatit ja polyuretaanit. Polymeerit voidaan jakaa kemiallisen koostumuksen mukaan vielä epäorgaanisiin ja orgaanisiin polymeereihin. Kuitenkaan polymeerejä ei käytetä sellaisenaan, vaan niihin lisätään lisäaineita, jotta saadaan polymeerimateriaaleja. Pääryhmät polymeerimateriaaleille ovat muovit ja elastomeerit, jotka jakautuvat vielä kesto- ja kertamuoveihin sekä kumeihin ja termoelastomeereihin. (Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa 1, 2012.)

Orgaaniset polymeerituotteet, sekä polymeerin ja laastin seokset ovat yksi betonin korjausaineista. Korjausaineissa polymeeri on joko varsinainen sideaine tai mahdollisesti lisäaine, jolla saavutetaan halutut ominaisuudet. (Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa 1, 2012.)

### Betonimuovi

Muovibetoni eli polymeeribetoni ei sisällä lainkaan sementtiä. Nykyisin muovibetoni tunnetaan paremmin nimellä betonimuovi, josta selviää paremmin, että kyseessä on betonin kaltainen muovi. (Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa 1, 2012.)

Betonimuovissa kiviaines sidotaan orgaanisella polymeerillä, joka voi olla epoksia, polyuretaania tai polymetyylimetakrylaattia, eikä se sisällä sementtiä kuten tavalliset betonit. Kiviaineksen raekoko ja polymeerin määrä seoksessa riippuvat sen käyttötarkoituksesta. Mitä enemmän kulutuskestävyyttä kohde vaatii sitä karkeampi kiviaineksen tulee olla. Raekoko vaihtelee neljästä millimetristä kahteenkymmeneen millimetriin käyttötarkoituksittain. Lisäksi tarpeen vaatiessa seokseen voidaan lisätä myös hienompia kiviaineksia. Sementtilaastia korvattaessa betonimuovilla paikkausmassan

hiekan raekoko on alle neljä millimetriä. Paikkausmassoissa käytetään sideaineena epoksihartsia tai akrylaattia, joka sekoitetaan kovetteen ja runkoaineen kanssa työmaalla juuri ennen käyttöä. (Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa 1, 2012.)

Betonimuovilla on paljon hyviä ominaisuuksia. Se kovettuu nopeasti, tarttuu hyvin kiivainekseen, tavalliseen betoniin ja metalleihin, sillä on hyvät lujuus-, iskulujuus- ja kulutuksenkestävyysominaisuudet, se on pölyämätöntä, hylkii vettä, kestää hyvin suolaliuosten, öljyjen ja happojen vaikutusta, se on tiivistä ja sen ulkonäköä voidaan muunnella pigmenteillä ja koristerakeilla. (Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa 1, 2012.)

#### Polymeeripitoiset betonit ja laastit

Polymeeripitoiset betonit ja laastit sisältävät sekä sementtiä että polymeerejä. Polymeerin määrän ollessa yli viisi prosenttia sementin painosta, sitä kutsutaan polymeerisementtibetoniksi. Tällaisissa tapauksissa polymeeri vaikuttaa materiaalin ominaisuuksiin. Jos polymeeria on vähemmän kuin viisi prosenttia, käytetään nimitystä polymeerimuunnosbetoni. Kyseisessä betonissa polymeeri toimii lähinnä lisäaineen tavoin. Seoksessa voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa polymeeria, joka voidaan sekoittaa veteen lateksiksi. Erityisehtona on kuitenkin, että polymeerin on oltava stabiili siinä ympäristössä, jossa materiaali asennetaan. Lateksit sisältävät yleensä noin viisikymmentä prosenttia polymeeria.

Polymeeripitoiset paikkauslaastit ovat joko valmislaasteja tai kaksikomponenttilaasteja. Kaksikomponentti laasteissa sekoitetaan sementti ja runkoaine sekä lateksi yhteen työmaalla. Valmislaasteissa puolestaan kuiva-aines sisältää kaikki tarvittavat komponentit, myös polymeerin, joten työmaalla seokseen tarvitsee lisätä vain vesi.

## 6 KYSELY- JA HAASTATTELUTUTKIMUKSET SEKÄ TULOKSET

### 6.1.1 Aikataulu

Opinnäytetyön aihe tuli lehtori Sirpa Laaksolta. Hyväksyttiin mielenkiintoiselta kuulostava aihe heti. Opinnäytetyön aihe saatiin lokakuussa 2011. Työtä varten tehtiin suunnitelmat sen etenemisestä. Opinnäytetyössä päätettiin suorittaa kyselytutkimus.

Helmikuussa 2012 laadittiin tutkimusta varten kyselylomake, joka lähetettiin eteenpäin sähköpostilla alan ammattilaisille ja yrityksille.

Kirjalliseen muotoon saattaminen tehtiin kaiken tiedonhaun ja muun työn ohella. Työ valmistui toukokuussa 2012.

### 6.1.2 Tiedonhaku

Opinnäytetyötä varten kerättiin tietoa vedenalaisten betonirakenteiden asiantuntijoilta. Haastatteluilla ja kyselyillä pyrittiin saamaan tietoa vedenalaisten betonirakenteiden korjausmenetelmistä ja käytettävistä materiaaleista. Kyselyt ja haastattelut suoritettiin kyselylomakkeiden avulla (liite 1, liite 2). Kysely lähetettiin Suomen suurimpiin satamiin, sukellusyrityksiin, urakoitsijoille ja materiaalitoimittajille.

Kysely lähetettiin sähköpostitse kahdeksan satamakaupungin kunnossapitopäällikölle tai vastaavalle. Vastaukset saatiin kaikilta satamilta, osittain kuitenkin puutteellisena. Lisäksi lähetettiin kyselylomakkeet useille urakoitsijoille ja materiaalitoimittajille, joiden vastausprosentti oli todella vähäinen. Ilmeisesti kiireet ja kyselyn vapaaehtoisuus vähensivät yritysten mielenkiintoa vastata.

Haastattelujen ja kyselyjen lisäksi hankittiin tietoa kirjallisuudesta, julkaisuista sekä internetistä. Kirjalliset teokset olivat rakennusalan liittojen teoksia tai alan kirjallisuutta. Luotettavina internet-lähteinä käytettiin alan yritysten, liittojen ja valmistajien sivustoja.

## 6.2 Tulokset

Haastattelu ja tutkimuskohteet olivat satamia ja niiden vedelle alttiina olevia betonirakenteita, mutta työssä sivutaan muitakin vedenalaisia betonirakenteita, kuten voimalaitosten rakenteita sekä betonirakenteisia siltoja.

### 6.2.1 Vaurioiden seuranta

Osassa haastatteluista kohteista rakenteiden kuntoa seurataan säännöllisillä kuntotarkastuksilla, joissa selvitetään rakenteen kuntotila ja korjaustarpeet. (Salo 2012.)



Satamissa vaurioituneita betonirakenteita kunnostetaan tapauskohtaisesti niiden käyttötärpeen ja budjetin mukaan. Vilkkaimmat laiturit pyritään pitämään hyvässä kunnossa ennaltaehkäisemällä vaurioita tai korjaamalla vauriot mahdollisimman nopeasti. (Mustamaa 2012.)

### 6.2.2 Vaurion tyypit

Lähes kaikissa haastattelemissani kohteissa oli esiintynyt useita eri vauriotyyppejä. Vauriotyypit olivat pienestä lohkeamasta rakenteiden sortumiseen saakka. Ilmenneistä isommista vaurioista betoniterästen korroosio on yleisin kaikista. Lisäksi on havaittu betonin halkeilua, rapautumista sekä pintavaurioita. Vanhimmissa rakenteissa vaurioihin törmätään useimmin ja niitä on enemmän. Usein myös tällaisia vaurioita on korjattu jo ennestään useita kertoja.

Satamarakenteisiin syntyy usein erilaisia vaurioita alusten törmäilyjen vuoksi. Törmäyksen aiheuttamat vauriot vaihtelet pienistä halkeamista suuriin murtumisiin. Yleisesti vauriot aiheuttavat aluksessa oleva keulapulppi. Törmäysvaurioita ei havaita välttämättä helposti. Vauriot voivat olla pinnassa näkyvillä tai kuuden metrin syvyydessä, josta niitä ei havaita ilman ilmoitusta. (Mustamaa 2012.)

Rakenteiden romahtamisia oltiin myös havaittu satamarakenteiden kansirakenteissa. Maamassojen huuhtoutuminen on huomaamatonta ja voi aiheuttaa rakenteen sorruttua suuria vahinkoja.

### 6.2.3 Vaurioiden sijainti

Suomen satamien ja siltojen betonirakenteet ovat ankarissa olosuhteissa. Rakenteet altistuvat kosteudelle, jäätymis- ja sulamisrasituksille. Kasvava liikenteen määrä aiheuttaa yhä enemmän kantavien rakenteiden halkeilua ja muodonmuutoksia. Siltojen suurimmat vauriot sijaitsevat vesirajan tuntumassa, jossa pakkasen ja veden liikkeen vaikutuksesta rapautuminen alkaa melko nopeasti.

Satamarakenteiden vauriot sijaitsevat yleensä enimmäkseen vesirajalla ja sen molemmin puolin. Vaurioiden yleisin sijainti on -1,5...+0,5 m vedenpinnasta. Vaihtelun alueen vauriot esiintyvät useimmiten pilareissa ja palkeissa. Kansirakenteiden ongelmakohta-

na esiintyvät usein palkkien alapinnat. Pienimmät vauriot esiintyvät pohjantasolta aivan pintaan asti. Vesirajan vauriot johtuvat vedenpinnan korkeuden vaihtelusta. Suurimmat vauriot kuitenkin johtuvat usein laivojen ja jäälauttojen törmäilyistä. Suurimmat lohkeamat esiintyvät vedenpinnan yläpuolella. Törmäysvauriot voivat kuitenkin olla myös hyvin syvällä. Täydessä lastissa olevat laivat uivat syvällä ja näin aiheuttavat törmätessään vauriot syvälle. (Mustamaa 2012; Saukkonen 2012; Jokimies 2012; Kallio 2012.)

Voimalaitosten betonirakenteissa esiintyvät vauriot sijaitsevat lähellä pintaa. Vauriot johtuvat yleensä jäiden vaikutuksesta. Työn aikaiset valuvirheet näkyvät rakenteiden juuressa erottumina. (Mustamaa 2012.)

#### 6.2.4 Vaurioiden laajuus

Suomen sillat ja satamien rakenteet ovat hyvin eri-ikäisiä. Betonirakenteiden vauriot ovat hyvin erilaisia ja eriasteisia. Laajuus vaihtelee rakenteittain. Vauriot vaihtelevat yksittäisistä pienistä vaurioista jopa katkenneisiin paaluihin ja sortuneisiin rakenteisiin. Vanhemmissa rakenteissa vauriot ovat laajempia ja vaihtelevampia. (Jokimies 2012; Mäki-Jussila 2012; Saukkonen 2012)

Paalujen vaurioissa pahimmassa tapauksessa paalu on vaurioitunut niin pahasti, että se ei ole enää kiinni laisinkaan kansirakenteessa tai se on lähes poikki alemmalla. Tällainen vaurio johtuu suojabetonikerroksen ja terästen syöpymisestä. Lisäksi alusten törmäykset rakenteisiin voivat katkaista paalun. Syöpyneestä kohdasta paalu saattaa olla tiimalasimainen. (Mustamaa 2012; Saukkonen 2012.)

Satamarakenteiden laajimmat vauriot kohdistuvat vanhoihin hirsiarkkurakenteisiin. Hirsiarkkurakenteiden vauriot eivät ole niinkään korkeita vaan pitkiä, ja ne voivat toistua eri syvyyksissä. Laitureiden eliniän lähennellessä viittäkymmentä vuotta ne uusitaan kokonaan lähes poikkeuksetta. (Mustamaa 2012; Saukkonen 2012.)

Voimalaitosten ja kanavien vauriot eivät ole korkeita. Virtapilareissa vauriot ovat useimmiten pitkänomaisia. Kanaviin laajoja vaurioita aiheuttaa niiden läheisyydessä olevien hyytöjen räjäyttäminen. Räjäytyksien seurauksena rakenteet voivat lohjeta tai haljeta laajalta alueelta. (Mustamaa 2012.)

Siltarakenteiden vauriot luokitellaan sillantarkastuskäsikirjan vaurioluokkien mukaisesti 1–4, eli lieviin, merkittäviin, vakaviin ja erittäin vakaviin vaurioihin. Vaurioluokat määritellään sillantarkastuskäsikirjassa olevien taulukoiden 2–21 mukaan. Taulukoista selviävät kunkin vauriotyyppin vaurioluokat, ohjeelliset korjaustoimenpiteet ja ohjeelliset kiireellisyysluokitukset. Yleiskaavion avulla (taulukko 1) osoitetaan, missä vaurioluokitustaulukossa ovat eri rakenteiden vauriotyypeille osoitetut tiedot. (Liikennevirasto 2010, 26.)

Taulukko 1. Sillantarkastuksen vaurioluokituksen yleiskaavio (Liikennevirasto 2010, 26.)

RAKENNE											
VAURIOTYYPPI		Betonirakenne	Teräsrakenne	Teräsputki	Puurakenne	Kivirakenne	Päällyste	Ohutkerros-päällyste	Liikuntasäula	Kuivatuslaite	Verho
11 Rapautuminen	m <sup>2</sup>	2				12	●		15	●	●
12 Halkeilu	m	3	8	●	10	12	13	14	15	●	●
13 Ruostuminen	m <sup>2</sup>	4	7	9					15	16	●
14 Vesivuoto	m <sup>2</sup>	5		●	●	●			15	16	
15 Verkkohalkeilu	m <sup>2</sup>	2					13	14			●
16 Purkautuminen	m <sup>2</sup>						13	14			
17 Kuluma	m <sup>2</sup>	2	●	●	10, 11	●	13	14	15		●
18 Valuvika	m <sup>2</sup>	6									
19 Eroosioaurio	m <sup>2</sup>			●	●	●				17	18
20 Deformaatio	m <sup>2</sup>						13		15		
21 Lahoaminen	m <sup>2</sup>				10, 11						
22 Hilseily	m <sup>2</sup>	2	7	●	●	●				●	●
23 Kupliminen	m <sup>2</sup>		7	●			13				
24 Taipuma	mm	●	8	9	10	●				●	
25 Murtuma	kpl	●	8	9	10, 11				15	17	●
26 Lohkeama	m <sup>3</sup>	4				12		●	15	●	●
27 Painuma	mm	●		●	●	12				17	18
28 Siirtymä	mm	●	8	●	10	12				●	18
29 Sortuma	m <sup>3</sup>	●	8	●	●	●				17	18
30 Löystymä	kpl				11	●			15	16	18
31 Irtoama	kpl	21		●	10, 11	12		14	15	16	18
32 Tukos	kpl			●						16	
33 Kiertymä	kpl	●	●		10	●					
34 Kokoonpuristuma	mm								●		
35 Puuttuminen	kpl		20				●	●	●	●	●
36 Lommahdus	mm		●	●							
37 Töhräys	m <sup>2</sup>	19	19	19	19	19					●
38 Ulkonäkövirhe	kpl	●	●	●	●	●				●	●
39 Lian matala	mm		20								
40 Lian lyhyt	m		20	●			●		●	16	

numero = vaurioluokitustaulukon numero

● = mahdollinen vauriotyyppi, ei luokitustaulukkoa

Vaurioita tarkastaessa lähekkäin olevat samantyyppiset vauriot kirjataan yhdeksi vaurioksi. Laajuus määräytyy kaikkien yhteenlasketusta summasta. Siltarakenteiden vauriot vaihtelevat pienistä pintavaurioista katkenneisiin paaluihin. Liikenneonnettomuudet aiheuttavat ajoittain suuriakin vaurioita siltarakenteille. Suurien vaurioiden korjaaminen on siltarakenteissa hankalaa, koska se vaatii lähes poikkeuksetta liikenteen pysäytystä. Tämä aiheuttaa suuria toimenpiteitä, jotta liikenne saadaan kulkemaan lähes yhtä mutkattomasti kuin normaalisti. (Liikennevirasto 2010, 22,64; Mustamaa 2012)

### 6.2.5 Vaurioiden korjaaminen

Tyypillisesti satamarakenteet pyritään korjaamaan sillä materiaalilla, josta ne on alun perin valmistettu. Rakenteiden vaurioiden ollessa niin pahoja, että korjaustoimenpiteet tulisivat kalliiksi, puretaan vanha rakenne ja tehdään uusi sen tilalle. Pienemmät paikalliset korjaukset toteutetaan betonipaikkauksen avulla.

Vesirajakorjauksissa tyypillisin korjausmenetelmä satamissa on nykyään betonimanttelointi. Manttelointeja voidaan tehdä koko paalun mitalle tai vain osalle paalua. Betonimanttelit tehdään joko uudelleenkäytettävien lasikuitumuottien avulla tai muotti tehdään polyeteeniputkesta, mustasta tai haponkestävästä teräksestä. Kohteissa, joissa mantteli ei jää näkyviin se voidaan jättää paikoilleen. Muuten kaulus poistetaan valun jälkeen. (Mustamaa 2012; Saukkonen 2012.)

Usein paalut korvataan uusilla, tällaisissa tapauksissa puhutaan niin sanotusta rakenteen uudistamisesta (kuva 27). Tarpeeton vanha paalu jätetään kuitenkin usein paikalleen, koska se ei haittaa uuden rakenteen toimintaa ja sen purkaminen aiheuttaa turhia lisäkustannuksia. Yhtenä helppona korjausmenetelmänä käytetään joko onttoja tai sisään valettuja teräsputkipaaluja. Teräsputkipaalu asennetaan paikalleen laiturin kannen porattujen reikien kautta. Paalut lyödään niin syväälle pohjaan asti, että ne kantavat kannen painon. (Saukkonen 2012; Kallio 2012.)

Paalujen yksittäinen korjaus on erittäin kallista. Paalun ollessa pahasti vaurioitunut sen korjauskustannukset ovat suuruusluokkaa kaksituhatta €/m. Tyypillisen syväsataman pilarien korjaaminen tulee todella kalliiksi, koska väylät ovat usein jopa kymmenen metriä syviä. Tällöin korjauskustannukset nousisivat jopa kahteenkymmeneen-

hanteen euroon. Rakenteiden purkaminen ja uusien pilareiden valaminen on usein halvempi vaihtoehto. (Saukkonen 2012.)



Kuva 27. Kansirakenteen läpi lyöty uusi teräsputkipaalu (Helsingin satama 2012.)

On myös hyvä ottaa huomioon, että korroosiosuojausmenetelmistä ainoastaan katodinen suojaus sopii makean veden alaisille rakenteille, koska sinkkisuojaus ei suojaa makealta vedeltä, vaan ruostuminen alkaa siitä huolimatta (Mustamaa 2012).

#### 6.2.6 Käytettävät materiaalit

Päättötyön kannalta materiaalivalmistajat olivat kaikkein hankalin kohderyhmä, koska heiltä ei saanut juuri laisinkaan tietoa uusista materiaaleista, vaan kaikki materiaalitiedot ovat peräisin kirjallisuudesta ja toimijoilta. Haastattelujen mukaan vedenalaisten

betonirakenteiden korjaukseen satamissa käytetään yleisimmin rakennebetoneja K35/K40 tai uppobetonia. Pienimmissä valuissa käytetään huuhtoutumatonta betonia.

#### 6.2.7 Kehittäminen

Vedenalaiseen korjausrakentamiseen erikoistuneilla yrityksillä on omia tekniikoita ja menetelmiä, joita kehitetään koko ajan. Nämä tekniikat ovat omien kokemusten ja taitojen kautta tulleita, eikä niitä tuoda julkisuuteen.

Vedenalainen korjaus on edelleenkin suhteellisen kallista, joten uusien ideoiden ja korjausmenetelmien kehittäminen on suotavaa. Tulevaisuuden tavoitteena onkin kehittää uusia ja yhä halvempia korjausmenetelmiä. Etenkin sukellustyötä tulisi saada vähennettyä, koska se on kallista.

Yhtenä toimijan ehdottamana tulevaisuuden muottirakenteena voisi olla esimerkiksi polyeteenistä valmistettu kevytrakenteinen paikoilleen jäävä muotti, jossa raudoitukset olisivat valmiiksi paikoillaan. Tällaisella ratkaisulla saataisiin vähennettyä kalliita veden alla suoritettavia töitä, ja myös kustannukset pienenisivät.

Manttelointimuottikalustoa tulisi kehittää kevyemmäksi ja toimivammaksi. Haastatettu kohteen ideana olisi, että jos polymeeribetonia ja liukuvalutekniikkaan veden alla hyväksikäyttäen manttelin paksuus saataisiin muutamaa senttimetriä nykyisestä paksuudesta, ainakin työkuukustannuksissa säästettäisiin paljon, varsinkin kun polymeeribetonin yhteydessä ei tarvittaisi raudoitusta. Ongelmana on, ettei liukutekniikalla suoritettu valu ole onnistunut ainakaan kyseisen toimijan korjauskohteissa. Lisäksi kevytrakenteisen muotin materiaalista ja kestävyydestä ei ole tietoa toimijoiden keskuudessa tai ainakaan kukaan ei halua siitä julkisuuteen puhua.

Materiaaleja tulisi kehittää jatkuvasti vastaamaan jokapäiväistä kysyntää, jotta pystyttäisiin tarjoamaan markkinoille edullisin ja parhain tuote. Toimijoiden keskuudessa materiaaleista tiedetään varmasti enemmän, kuin halutaan tuoda julki.

Tulevaisuudessa pitäisi keskittyä enemmän ennakkoivaan kunnossapitoon, vaurioiden ehkäisyyn ja satamien suunnitteluun. Vaurioiden ehkäisyllä voidaan tarkoittaa esimerkiksi laiturin alle menevien virtausten estämistä suojarakenteilla tai palkkien suoja-

mista teräsrakenteella mahdollisten törmäysvoimien minimoimiseksi. Satamien suunnittelussa tulisi ottaa huomioon mahdolliset vaikutukset satamarakenteisiin. Ennakoidussa kunnossapidossa esimerkiksi katodisen suojauksen suosiota tulisi lisätä ja sen kustannuksia tutkia tarkemmin. Ennaltaehkäisevän kunnossapidon hyöty tulee esiin siinä, ettei suurkorjauksia tarvitsisi tehdä enää siinä mittakaavassa kuin nykyisin. Näin ollen myös korjauskustannukset pysyisivät paremmin kurissa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Helposti kuvitellaan, ettei vedenalaisten rakenteiden käyttöä kasvatamiseksi ole mitään tehtävissä, vaan rakenteiden kuuluukin tuhoutua ajan saatossa. Laitureiden oletetaan kestävän viisikymmentä vuotta, jonka jälkeen ne automaattisesti puretaan ja korvataan uusilla. Suurimpien satamien kohteilla asenteisiin on alkanut tulla muutosta, mutta silti paljon lisää olisi tehtävissä, jotta rakenteet saataisiin kestävämpään pidempään. Esimerkiksi katodisuojaus tiedetään tehokkaaksi, mutta silti sitä ei juurikaan käytetä.

Kuntokartoitus on yksi tärkeimmistä ennaltaehkäisy tukipilareista. Kuntokartoituksella pystytään arvioimaan rakenteiden mahdollinen korjaustarve, ennen kuin on liian myöhäistä. Nykyisellään kuntotarkastukset ovat jääneet liian vähäisiksi, koska joissakin satamissa korjaustarve huomataan vasta, kun on liian myöhäistä. Tällöin laiturirakenne saattaa olla jo korjauskelvoton.

Nykyisin tiedetään hyvin, mihin kohtaan ja miksi vauriot rakenteisiin syntyvät. Silti niitä pyritään korjaamaan paikkaamalla vain pahimmat kohdat eikä kiinnitetä huomiota kokonaisuuteen tai kestävimpiin materiaaleihin. Ennaltaehkäisyyn ei haastattelujen mukaan satamissa kiinnitetä juuri laisinkaan huomiota. Moni satama ei tee mitään estääkseen vaurioiden syntymistä rakenteisiin.

Esimerkkinä kehityskelpoisesta ratkaisusta voitaisiin käyttää vedenpinnan vaihtelualueella teräsbetonipaalun sijasta teräsputkipaalua, jonka sisäosa raudoitetaan kantavaksi teräsbetonipilariksi. Tällöin teräskuori voi vaikka ruostua pois rakenteen stabiiluden vielä vaarantumatta. Näin ollen rakenteen käyttöikä kasvaisi huomattavasti.

Materiaaleista puhuttaessa keskitytään usein hintaan ja tunnettavuuteen, eikä niinkään kestävyys. Uusia materiaaleja ei haluta kokeilla, ennen kuin jollakin toisella on

niistä kokemusta. Alalla kuitenkin toivotaan uusia ja yhä parempia materiaaleja, ja mikäli niitä olisi tarjolla hyvään hinta-laatusuhteeseen, niitä varmasti myös käytettäisiin. Sekä materiaaleissa että korjausmenetelmissä on vedenalaisiin betonirakenteisiin liittyen vielä paljon kehitettävää.



## LÄHTEET

Aalto, Mikko 2012. Muottikolmio. Haastattelu 1.3.2012.

Betola 2012. Ruiskubetonointi. Saatavilla

<http://www.betola.fi/fi/Betonikorjaukset/Ruiskubetonointi.html> [viitattu 18.2.2012].

Betonin paikkaus 1.231, Osa1. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1231a.pdf> [viitattu 12.1.2012].

Betonin paikkaus 1.231, Osa2. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1231b.pdf> [viitattu 12.1.2012].

Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla

[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201\\_2007.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf) [viitattu 6.4.2012].

Betoniteollisuus ry 2012. Muottityö. Saatavilla

<http://www.betoni.com/fi/Betoniopas/Betonity%C3%B6t/Muottity%C3%B6/> [viitattu 1.4.2012].

Betonointi ruiskuttamalla 1.232. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla

[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232\\_10.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232_10.pdf) [viitattu 18.2.2012].

Concretec 2012. Ruiskubetonointi. Saatavilla

<http://www.concretec.com/palvelut/ruiskubetonointi/> [viitattu 18.2.2012].

Encyclopedia Citizendium 2012. Saatavilla:

<http://en.citizendium.org/wiki/Concrete> [viitattu 27.3.2012].

Encyclopedia Britannica 2012. Saatavilla

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/191809/erosion> [viitattu 27.03.2012].

FCG Finnish Consulting Group Oy 2010. Lupa kuvien käyttöön saatu 12.4.2012 Hamina Kotkan Satama Oy:ltä.

GT-Cosporation 2012. Lupa kuvan käyttöön saatu 11.4.2012 Helsingin satamasta.

Halkeaman imeytys 2.239. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2239.pdf> [viitattu 22.4.2012]

Halkeamien korjaaminen 1.233. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla:  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf> [viitattu 17.2.2012].

Helsingin satama 2012. Lupa kuvien käyttöön saatu 11.4.2012.

Insinööritoimisto Pitkälä Oy 2012. Saatavilla  
<http://www.pitkala.fi/index.html> [viitattu 11.4.2012].

Jokimies, Teppo 2012. Tekninen johtaja, Hamina-kotka Satama Oy. Haastattelu 14.2.2012 sekä 15.2.2012.

Kallio, Janne 2012. Kiinteistönhoitaja, Naantalın satama. Haastattelu 19.3.2012.

Liikennevirasto 2010. Sillantarkastuskäsikirja. Saatavilla  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillantarkastuskk2004.pdf> [viitattu 19.4.2012].

McLeish, Andrew 1994. Uderwater Concreting and Repair.

Mustamaa, Lasse 2012. Toimitusjohtaja, Insinööritoimisto Sukellus-kotka Oy. Haastattelu 21.3.2012.

Mäki-Jussila, Kristian. Liikennepäällikkö, Vaasan satama. Haastattelu 15.2.2012.

Paikkaus ilman muotteja 2.231. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2231.pdf> [viitattu 21.4.2012]

Paikkaus muottien avulla 2.232. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2232.pdf> [viitattu 21.4.2012].

Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202, Osa1. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla  
<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1202a.pdf> [viitattu 8.4.2012].

Powermortar 2012a. Saatavilla  
[http://www.powermortar.fi/fi/data/files/voimalaasti\\_tekninen\\_erittely\\_fi\\_txt.pdf](http://www.powermortar.fi/fi/data/files/voimalaasti_tekninen_erittely_fi_txt.pdf) [viitattu 20.1.2012].

Powermortar 2012b. Saatavilla  
<http://www.powermortar.fi/fi/> [viitattu 20.1.2012].

Rakenteiden hiilikuitukomposiittivahvistus 2012. Saatavilla  
<http://www.teke.fi/hiilikuituvahvistus.pdf> [viitattu 24.2.2012].

Raudoituksen uusiminen 2.262. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla  
[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2262\\_10.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2262_10.pdf) [viitattu 20.2.2012].

Rescon Mapei 2012. Betonin korjaus. Saatavilla  
[http://www.mapei.it/public/FI/brochures/multimedia/betoninkorjaus\\_fi\\_0311\\_low.pdf](http://www.mapei.it/public/FI/brochures/multimedia/betoninkorjaus_fi_0311_low.pdf)  
[viitattu 6.4.2012]

RIL 236-2006. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry, 2006. Satamalaitureiden  
kunnonhallinta.

Rudus Oy 2012. Ruiskubetonit. Saatavilla  
<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/ruiskubetonit> [viitattu 19.2.2012].

Salo, Petri 2012. Tekninen johtaja, Rauman satama. Sähköpostiviestit 19.3.2012.  
Saukkonen, Veikko 2012. Jaospäällikkö, Helsingin satama. Sähköpostiviestit  
15.2.2012.

Sebera 2012. Saatavilla

<http://www.sebera.fi/doku.php?id=sebera> [viitattu 12.2011].

Sementti-injektointi 2.237. Siltojen korjausohjeet. Saatavilla

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2237.pdf> [viitattu 17.2.2012].

Suomen Betonitieto Oy 2004. ITB Itsetiivistävä Betoni.

Suomen Betoniyhdistys ry 2007. BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004.

Tielaitos 2012. Siltojen suunnitelmat. Saatavilla

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/silsuu00.pdf> [viitattu 18.4.2012]

Uudenkaupungin isännöitsijäkeskus 2012. Saatavilla:

[http://www.isannoitsijakeskus.fi/tietopankki/betoniterasten\\_korroosio\\_](http://www.isannoitsijakeskus.fi/tietopankki/betoniterasten_korroosio_) [viitattu 22.3.2012].

Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1989. Liisa Salparanta. Vedenalaiset betonivauriot.

VTI 2008. Katodinen suojaus. Saatavilla

[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/katodinen\\_suojaus\\_2008.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/katodinen_suojaus_2008.pdf) [viitattu 29.3.2012].

Weber Oy 2012a. Ruiskubetonit. Saatavilla

<http://www.e-weber.fi/tekniset-laastit/weber-tuotteet/tuotteet/betonin-korjauslaastit/webervetonit-rb-505-k.html> [viitattu 19.2.2012].

Weber Oy 2012b. Tekniset laastit. Saatavilla

<http://www.e-weber.fi/tekniset-laastit/weber-opas/tuotteet.html> [viitattu 6.4.2012].

## **KYSELYLOMAKE VEDENALAISISTA BETONIRAKENTEISTA**

Paikka:

Aika:

Vastaaja:

1. Mitä vaurioita betonirakenteissa on havaittu ja korjattu?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
2. Missä vauriot sijaitsevat (veden rajassa, pinnan alla...)?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
3. Kuinka laajoja vauriot ovat?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
4. Miten näitä esiintyviä vaurioita voi ehkäistä tai tällä hetkellä ehkäistään?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
5. Miten vaurioita on korjattu tai korjataan?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
6. Mitä materiaaleja korjauksissa on käytetty?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
7. Onko teillä käytössä oleville korjausmenetelmille kehitysideoita?

8. Onko teillä käytetyille materiaaleille kehitysideoita?

Vapaa sana...

**KYSELYLOMAKE VEDENALAISISTA BETONIRAKENTEISTA**

Paikka:

Aika:

Vastaaja:

1. Mitä materiaaleja teillä on tarjota vedenalaisten betonirakenteiden korjaukseen?

2. Mitä vaurioita näillä materiaaleilla voidaan korjata?

3. Onko materiaaleille uusia tulokkaita ulkomailla, tai kehitteillä?

4. Onko teillä jo olemassa oleville materiaaleille kehitysideoita?

Vapaa sana...